

Treball de Fi de Grau
Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials

Big Data i transport públic. Possibilitats i aplicacions a les línies regulars d'autobusos.

MEMÒRIA

Autor: Laia Vendrell Fernández
Director: Pere Grima Cintas
Convocatòria: Gener de 2016



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



Resum

L'aparició de noves tecnologies, resguardades sota el concepte Big Data, permeten la generació, processament, emmagatzematge i anàlisi de grans quantitats de dades, massives, fent possible un anàlisi acurat de la realitat. Aquesta tecnologia, cada cop més estesa i amb costos menors, pot aplicar-se al transport públic per tal de conèixer-ne el comportament a partir de la generació de dades. Coneixent-ne les tendències, és possible, per exemple, la reestructuració dels recursos de forma eficient, la supervisió del sistema o el coneixement de les necessitats reals dels usuaris.

Concretament, el present projecte s'ubica a la Regió Metropolitana de Barcelona –RMB-, una de les deu principals concentracions europees i amb una població que representa el 67% de la població total de Catalunya [1]. Limitant l'abast del projecte per a poder-lo apropar a la realitat, es pretén plantejar un model d'obtenció i anàlisi de dades a temps real aplicable a les línies regulars d'autobusos de la RMB.

L'anàlisi del concepte Big Data permet comprendre l'avanç tecnològic present i sobreposar-lo a l'àmbit del transport públic. A partir d'aquí, és necessari descriure i entendre quina és la situació actual –administrativa i tecnològica- de les diferents xarxes d'autobusos a la RMB. Delineant l'escenari actual és possible identificar els punts febles del sistema i així, proposar-hi una solució. D'aquesta manera, la metodologia emprada per a la realització del present projecte és:

- Estat de l'art: Descripció del concepte Big Data i possibles aplicacions a l'entorn del transport públic.
- Anàlisi del sistema actual de transport col·lectiu d'autobusos a la Regió Metropolitana de Barcelona.
- Diagnosi de problemes i presentació de possibles millores.
- Proposta i descripció d'un nou model tecnològic i de gestió de dades i anàlisi de les millores que proporciona a partir d'una comparativa amb el sistema que l'antecedeix.

Seguint els passos descrits, el present projecte té com a objectiu principal arribar a la proposta d'un nou sistema basat en les tecnologies que ofereix Big Data en el sector del transport públic per a facilitar la recollida de dades, la redistribució dels recursos disponibles i la difusió d'aplicacions i informació útil als usuaris i a l'administració de la xarxa de transport.



Sumari

RESUM	1
SUMARI	3
1. GLOSSARI	7
1.1. Definicions.....	7
1.2. Acrònims i abreviatures.....	7
2. PREFACI	9
2.1. Origen del projecte	9
2.2. Motivació	9
2.3. Requeriments previs	10
3. INTRODUCCIÓ	11
3.1. Objectius del projecte	12
3.2. Abast del projecte	13
4. ESTAT DE L'ART: BIG DATA	17
4.1. Les dades.....	17
4.2. El concepte de Big Data.....	17
4.3. Tipus d'informació.....	19
4.4. Arquitectura d'un sistema Big Data	20
4.4.1. Adquisició de dades	21
4.4.2. Extracció, neteja, anotació i emmagatzematge	22
4.4.3. Integració, agregació i fusió	23
4.4.4. Anàlisi, modelat i visualització.....	23
4.4.4.1. Minería de dades -Data Mining-.....	23
4.4.4.2. Modelatge	24
4.4.4.3. Visualització i disseminació.....	24
4.5. El potencial del concepte i aplicacions	25
5. SISTEMA D'AJUDA A L'EXPLOTACIÓ	27
6. DIAGNOSI DEL SISTEMA DE TRANSPORT ACTUAL D'AUTOBUSOS A LA RMB	28
6.1. Diagnosi administrativa	28
6.2. Diagnosi tecnològica dels autobusos: sistema de <i>ticketing</i>	29

6.2.1. Bitllet	29
6.2.2. Validadora i tecnologia de transmissió de dades	30
6.3. Detecció de problemes i possibles millores	34
7. MODEL PLANTEJAT	38
7.1. Explotació de dades: quines dades cal analitzar	38
7.2. Tecnologia per a la captació de dades a temps real	39
7.2.1. Tecnologia del bitllet: possibilitats	40
7.2.2. Comparativa de tecnologies	46
7.2.3. Tecnologia de la targeta o bitllet: proposta	47
7.2.3.1. Característiques físiques, estructura i procés de fabricació	49
7.2.3.2. Material	50
7.2.3.3. Interfície i arquitectura	50
7.2.3.4. Font d'alimentació	50
7.2.3.5. Capacitat del xip i memòria	51
7.2.3.6. Estructura de la memòria	51
7.2.3.7. Funcionament	51
7.2.3.8. Seguretat	52
7.2.3.9. Resum: Taula de característiques tècniques	53
7.2.4. Tecnologia de la validadora: possibilitats	54
7.2.5. Tecnologia de la validadora: proposta	56
7.2.6. Tecnologia per a la geolocalització a temps real: possibilitats	57
7.2.7. Tecnologia per a la geolocalització a temps real: proposta	59
7.2.8. Tecnologia per al comptatge de viatgers: possibilitats	59
7.2.9. Tecnologia per al comptatge de viatgers: proposta	62
7.2.10. Altres	63
7.3. Arquitectura tecnològica del sistema	63
7.4. Operativa del sistema	65
7.5. Gestió de les dades i visualització	66
7.6. Aplicacions del model pels usuaris	72
7.6.1. Autobusos urbans	73
7.6.2. Autobusos interurbans	74
7.7. Cost d'implantació del model	75
7.7.1. Finançament del transport públic	75
7.7.2. Estudi i dimensionament del sistema d'autobusos a la RMB	78
7.7.3. Desenvolupament del càlcul d'inversions en tecnologia	79



7.7.3.1. Inversió relativa a la innovació dels títols de transport.....	79
7.7.3.2. Inversió relativa a la innovació de les validadores embarcades.....	79
7.7.3.3. Inversió relativa a la incorporació de sensors	80
7.7.3.4. Inversió relativa als dispositius de geolocalització	80
7.7.3.5. Inversió relativa al hardware del vehicle.....	80
7.7.3.6. Inversió relativa al software.....	81
7.7.3.7. Inversió relativa al centre de gestió de dades	81
7.7.4. Inversió inicial	81
7.7.5. Costos de manteniment	82
7.7.6. Càlcul d'ingressos	82
7.7.7. Càlcul del VAN i valoració econòmica	82
7.7.7.1. Escenari més probable o moderat.....	83
7.7.7.2. Escenari optimista	83
7.7.7.3. Escenari pessimista	83
7.7.7.4. Valoració econòmica	84
7.8. Millores i avantatges respecte el sistema anterior	84
8. IMPACTE DEL PROJECTE	87
8.1. Impacte ambiental	87
8.1.1. Impacte ambiental positiu	87
8.1.1.1. Emissions provinents del transport.....	88
8.1.1.2. Impacte acústic.....	89
8.1.1.3. Consum energètic	90
8.1.2. Impacte ambiental negatiu	90
8.1.2.1. Material del títol de transport.....	90
8.2. Impacte social.....	91
9. PRESSUPOST.....	92
CONCLUSIONS.....	93
AGRAÏMENTS.....	95
BIBLIOGRAFIA.....	96
Referències bibliogràfiques.....	96
Bibliografia complementària	97

1. Glossari

A continuació, es concreten els conceptes o acrònims i abreviatures en ordre alfabètic.

1.1. Definicions

Big Data (BD) Dades massives que pel seu volum, la seva naturalesa i la velocitat a què han de ser processades ultrapassen la capacitat dels sistemes informàtics habituals; són dades experimentals, observacionals o generades de manera computacional.

Bit Unitat de mesura d'informació equivalent a l'elecció entre dues possibilitats igualment probables. És la unitat d'informació menor que utilitza un ordinador.

Byte Grup de 8 bits.

Open Data També anomenades Dades Obertes. Es tracta de conjunts de dades que es posen a disposició del públic i poden ser utilitzades i publicades sense cap restricció.

1.2. Acrònims i abreviatures

AGE Administración General del Estado

AMB Àrea Metropolitana de Barcelona

AMTU Agrupació de Municipis amb Transport Urbà

ATM Autoritat del Transport Metropolità

BD Big Data

CP Contractes Programa

CPU Central Processing Unit o Unitat Central de Processament

DGTM Direcció General de Transports i Mobilitat

EEPROM Electrically-erasable programmable read-only memory

EMT Entitat Metropolitana del Transport

FGC Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya



FMB Ferrocarril Metropolità de Barcelona

GPRS General Packet Radio Service o Servei General de Paquets per Ràdio

GPS Global Positioning System o Sistema de Posicionament Global

GSM Global System for Mobile communications o Sistema Global per a les comunicacions mòbils

ITM Institut Metropolità del Taxi

NFC Near Field Communication o Comunicació de camp proper

RAM Random Access Memory o Memòria d'Accés Aleatori

RENFE Red Nacional de los Ferrocarriles Españoles

RFID Radio Frequency Identification o Identificació per Radiofreqüència

RMB Regió Metropolitana de Barcelona

ROM Read Only Memory o Memòria només de lectura

SAE Sistema d'Ajuda a l'Explotació

STI Sistema Tarifari Integrat

SVV Sistema de Venda i Validació

TB Transports de Barcelona SA

TISC Targetes Intel·ligents Sense Contacte

TMB Transports Metropolitans de Barcelona

TRAM Tramvia de Barcelona

VIN Vehicle Identification Number o Nombre d'Identificació del Vehicle

2. Prefaci

2.1. Origen del projecte

Aquest projecte neix en un marc on la tecnologia avança de forma accelerada. Degut a la gran evolució actual en les tecnologies de la informació, cal enfrontar-se a nous reptes que permetin analitzar, descobrir i entendre més enllà del que les eines tradicionals reporten sobre la informació. Durant els últims anys, el gran creixement en el nombre de dades generades a causa de noves tecnologies de referència geogràfica o introducció de xips i sensors dóna peu a fer un pas endavant. D'aquest enrenou en el món de la tecnologia sorgeix el concepte Big Data -BD. Una eina que cal definir i entendre per a poder-la transportar a un àmbit on podria servir de gran ajuda. Així doncs, la generació de dades massives en el món del transport públic podria permetre una optimització dels serveis, facilitar les tasques de gestió a les entitats administratives i apropar la informació als usuaris. Aquest projecte, per tant, deu els seus orígens a la necessitat de trobar resposta a preguntes com: Podria, la generació de dades massives i a temps real, millorar el servei actual de transport públic? Serviria per a reduir línies sense gairebé passatgers o intensificar el servei en zones de demanda massiva? Podríem conèixer on es troba cada vehicle a temps real per tal de conèixer si el servei és el que s'esperava teòricament? Sembla ser que amb BD i les tecnologies que s'hi relacionen, és possible donar-hi resposta. Així, aquest projecte busca respondre aquestes qüestions i plantejar un model tecnològic per a fer-ho possible.

2.2. Motivació

És clar que l'aplicació del concepte Big Data està canviant la forma en què treballen les empreses, com també és evident que de tots els serveis que s'ofereixen a la societat, el transport públic és un dels sectors que pot optimitzar-se amb la captació, processament i anàlisi de dades a temps real. És una realitat que en l'actual societat de la informació les dades han començat a acumular-se fins al punt de succeir alguna cosa nova, fent que el canvi no només sigui quantitatiu sinó també qualitatiu. Va ser en ciències com l'astronomia o la genètica, a la dècada del 2000, quan es va utilitzar per primera vegada aquest terme: Big Data –dades massives. Ara, però, el concepte s'ha traslladat a totes les àrees de l'activitat humana. D'aquest nou concepte i de la seva gran capacitat per a ser investigat i aplicat en diferents sectors neix aquest projecte. Un projecte motivat per l'aparició de noves tecnologies que permeten solucionar problemes que afecten a la vida dels ciutadans. El meu interès per aplicar-ho al sector del transport públic, un sector que presenta moltes oportunitats i que milions d'usuaris utilitzen dia a dia –el 2014 s'enregistraven 971,3 milions



de viatges a la RMB [2]- ha sigut un gran punt d'ajuda per acceptar el repte i intentar aproximar una possible solució per a l'optimització del servei que es basi en les oportunitats que presenta Big Data.

2.3. Requeriments previs

Abans de proposar i definir un nou model tecnològic que substitueixi el sistema actual cal analitzar i entendre dos punts bàsics:

- a) Què és el Big Data i quina repercussió i aplicacions té en l'àmbit del transport públic.
- b) Quin és el funcionament actual del transport públic a la RMB? Entendre els punts febles del sistema existent i plantejar les possibles millores.

3. Introducció

La producció de dades en volums massius és un dels fets fonamentals del marc tecnològic actual. Mentre que durant els últims vint anys el cost d'emmagatzemar informació digital es desplomava, ara el nombre de dispositius i sensors que capten, produeixen i transmeten dades s'ha multiplicat exponencialment reduint els costos de forma considerable. Cada dia es generen 2,5 trilions de bytes i només durant el 2009 es van produir tantes dades com en tota la història de la humanitat fins a aquest punt. [3]

Les dades produïdes per xarxes de sensors o altres mecanismes, com ara dispositius GPS¹, es presenten actualment com una oportunitat i una eina clau. Actualment, doncs, grans quantitats de dades s'estan recollint, emmagatzemant i analitzant. Aquest ràpid augment en la disponibilitat de les dades ha donat lloc a l'expressió "Big Data" o dades massives. Big Data sembla afirmar que darrera l'explosió de dades es troben nous mecanismes per a resoldre problemes i plantejar preguntes i que, aquests, poden servir per a entendre la realitat i redistribuir la gestió dels recursos o solucionar conflictes. Així doncs, en termes generals, Big Data engloba aquelles dades la recol·lecció, processament, anàlisi o interpretació de les quals requereix l'ús de tècniques innovadores.

La tendència d'avanç de la tecnologia ha obert les portes cap a un nou enfocament pel que es refereix a l'anàlisi i adquisició de dades. Per al sector del transport públic, tractar grans quantitats d'informació a temps real permet la gestió de la xarxa de transport de forma òptima: s'adquireix informació que porta a poder prendre aquelles decisions més encertades en cada cas. Aquest projecte, doncs, pretén entendre els conceptes més bàsics del BD i arribar a la seva aplicació en un sector tan ampli com és el del transport públic.

Actualment, els sistemes de transports programen, en la seva majoria, la quantitat i ocurrència del transport depenent d'estadístiques i dades recol·lectades anteriorment. Si una zona presenta gran afluència de viatgers, caldrà programar més vehicles per a disminuir la saturació d'aquella àrea i per tant, serà necessari aproximar si són necessaris vehicles en reserva. Anàlogament a la quantitat de viatgers en certes regions o punts de ruta, es pot aplicar al nombre d'usuaris durant certes franges horàries o instants determinats. Gràcies a les noves tecnologies punteres de la informació es disposa d'eines de recollida i anàlisi de dades que ofereixen àmplies possibilitats de millora per al sistema de transport públic actual. D'aquesta manera, es podria incidir en diversos aspectes com per exemple anticipar la demanda i reestructurar els recursos o informar a l'usuari de forma clara i visual per potenciar l'atractiu del sistema de transport públic col·lectiu.

¹ Global Positioning System o Sistema de Posicionament Global



3.1. Objectius del projecte

Aquest projecte busca, en primer lloc, donar resposta als dubtes més teòrics sobre el món que envolta al Big Data. D'aquesta manera, en un inici es defineixen dos objectius principals:

- a) Realitzar un estudi teòric sobre Big Data: què és, per què ha aparegut i el seu funcionament i aplicacions.
- b) Sobreposar aquesta informació sobre un camp concret: el transport públic.

Coneixent què és el Big Data i quin pot arribar a ser el seu abast cal analitzar quina és la seva aplicació al transport públic. La tecnologia ha avançat i amb ella la capacitat de captar, processar i analitzar dades a temps real. D'aquesta manera, es pretén analitzar quina és la tecnologia que permet captar dades. Abans de tot, caldrà definir quina és la informació necessària a analitzar que permetria una optimització dels serveis. Un cop coneguda, cal plantejar quina tecnologia permet obtenir-la, processar-la i analitzar-la. Amb això, es defineixen els següents objectius:

- c) Descriure l'abast del Big Data i les seves aplicacions.
- d) Descriure la situació actual de la tecnologia al transport públic de l'àrea d'estudi: quina enginyeria hi ha darrera i quines dades es recullen i s'analitzen per a millorar el servei.
- e) Detectar punts febles del sistema i analitzar com es podria millorar la situació determinant quines variables i dades caldria analitzar per a optimitzar el servei.
- f) Analitzar quina tecnologia permet l'ús del Big Data en el transport i aplicar-ho a la regió d'estudi.
- g) Proposar i analitzar una solució que permeti optimitzar el servei de transport públic actual.
- h) Avaluar quin és el cost de l'enginyeria que s'utilitzaria en el model proposat.

D'aquesta manera, es pretén aprofundir en un concepte que actualment es troba en creixement i descobrir-ne les possibles aplicacions. Es vol, doncs, arribar a una proposta que, mitjançant l'ús d'una tecnologia emergent, permeti l'optimització del transport públic actual.

3.2. Abast del projecte

El projecte que es presenta a continuació està focalitzat en el transport públic de Catalunya, concretament el que s'ofereix a la Regió Metropolitana de Barcelona (RMB) –s'especifiquen les característiques principals de la RMB a l'Annex A. Tot i així, això no implica que el que s'exposa no sigui aplicable i extensible a altres zones territorials. S'escull aquesta àrea per limitar l'abast del treball a la regió més gran on opera el Sistema Tarifari Integrat –STI- de Catalunya. D'aquesta manera, s'abasten un total de 346 municipis. Cal tenir en compte que la RMB és una de les deu principals concentracions europees i la seva població representa el 67% de la població total de Catalunya. [1]

Pel que fa al transport públic, el consorci interadministratiu Autoritat del Transport Metropolità –ATM- s'encarrega de planificar les infraestructures i serveis, gestiona les relacions amb els operadors de transport col·lectiu, finança el sistema per part de les administracions, ordena les tarifes, interacciona i es comunica amb l'usuari, etc. Dins la planificació de les infraestructures i serveis i la comunicació amb l'usuari té lloc aquest projecte, que intenta arribar a una proposta tecnològica que faciliti, tant a l'empresa com als propis usuaris, dades a temps real sobre la marxa del servei. Aquestes dades han de permetre a l'empresa una gestió més ràpida i eficient del servei, i als usuaris conèixer l'estat del transport públic –a nivell de cada autobús, com s'explicarà posteriorment- a temps real.

El transport públic existent en la RMB es classifica en tres grups [4]:

- Serveis de transport públic col·lectiu amb obligacions de caràcter públic que operen en l'àmbit integrat de la RMB: S'inclou en aquest grup la majoria de l'oferta de la RMB en quant a transport públic. A aquest bloc pertanyen, en primer lloc, els serveis ferroviaris –serveis amb infraestructura pròpia- que són la xarxa de metro de Ferrocarril Metropolità de Barcelona –FMB-, la xarxa de Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya –FGC-, la xarxa de Red Nacional de Ferrocarriles Españoles –RENFE- i la del Tramvia Metropolità –TRAM. Es mostren a la Taula 3.1.

Operadores ferroviàries a la RMB
Transports Metropolitans de Barcelona (TMB) Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya (FGC) Rodalies de Catalunya (RENFE) Tramvia Metropolità

Taula 3.1. Operadores ferroviàries a la RMB. *Font:* ATM

En segon lloc, s'inclouen els serveis d'autobusos sense infraestructura pròpia i



diferenciats segons l'administració titular i el recorregut que realitzen. En aquest punt, l'Àrea Metropolitana de Barcelona –AMB- és responsable del servei urbà mentre que la Direcció General de Transport i Mobilitat –DGTM- és l'organisme que s'ocupa del servei interurbà. La major part de l'oferta correspon a AMB, la qual es presta mitjançant un operador públic de gestió directa, Transports de Barcelona SA –TB- i diversos operadors privats de gestió indirecta. Així mateix, s'inclouen autobusos urbans d'altres municipis. Segons TransMet Xifres, autobusos AMB presentava, el 2014, 108 línies, DGTM, 355 línies i altres autobusos urbans 120 línies [4]. Veure Taula 3.2.

Operadors d'autobusos AMB
Transports de Barcelona, SA Authosa Mohn, SL Oliveras, SL Rosanbus, SL TCC2, SL Tugsal Soler i Sauret, SA SGMT, SL Bus Nou Barris, SLU UTE Monbus El Port UTE Julià-Trapsa-Marfina Bus
Operadors d'autobusos interurbans DGTM
Autocars R. Font, SA Cingles Bus, SA Cintoi Bus, SL CRA La Hispania, SA Empresa Casas, SA Empresa Segalés, SA Empresa Plana, SL FYTSA La Hispano Igualadina, SL La Vallesana, SA Sarbus (Marfina Bus, SA) Soler i Sauret, SA Transportes Castellà, SA Autocares Julià, SL Autocars Vendrell, SL Autocorb, SA

Bages Exprés, U.T.E Barcelona Bus, SA Bus Castellví, SA La Hispano Llacunense, SA La Hispano Hilariencia, SA Martí Colomer, SL Mohn, SL Montferri Hermanos, SL S.A Alsina Graells de Auto Transportes SA Masats Transports Generals Transbages, SL Transports Generals d'Olesa, sau Transportes Pujol i Pujol, SL 25 Osona Bus, SA
Operadors d'autobús urbà
Empresa Segalés (Conurbació de Granollers) CTSA-Mataró Bus (Mataró) CTSA-Rubí Bus (Rubí) Manresa Bus, SA (Manresa) Sarbus i Saíz (Sant Cugat del Vallès) TCC (Vilanova i la Geltrú) TMESA (Terrassa) TUS, S.Coop. CL (Sabadell) Autos Castellbisbal, SA (Castellbisbal i El Papiol) Sarbus (Cerdanyola del Vallès) Tibus, SA (Martorell) Transports Urbans del Masnou, SL (El Masnou) Molins Bus UTE (Molins de Rei) TCC2, SL (Sant Sadurní d'Anoia) TCC, SA (Sitges) TMESA (Terrassa) Saiz Tour, SA (Valldoreix) Soler i Sauret, SA (Vallirana) Empresa Casas, SA (Vilassar de Mar i Cabrera de Mar) Tibus, SA (Sant Vicenç dels Horts) La Hispano Igualadina, SL (Vilafranca del Penedès) SA Masats Transports Generals (Igualada i municipis de la Conca d'Òdena)

Taula 3.2. Operadores d'autobusos a la RMB. *Font:* ATM

- Altres serveis col·lectius: Es consideren en aquest bloc serveis de transport escolar, transport de treballadors i circuits de caràcter turístic. Aquests, estan sotmesos a



autorització administrativa, és a dir, administració local, Generalitat de Catalunya o Administración General del Estado –AGE.

- Serveis de taxi: Mode de transport públic individual sotmès a règim d'autorització administrativa. L'organisme responsable és l'Institut Metropolità del Taxi de Barcelona –ITM- que depèn de l'AMB.

També es troben entre els serveis tres transports de caràcter minoritari: telefèric, funicular i tramvia blau. Aquests tenen bàsicament una funció turística en l'àmbit de la ciutat de Barcelona i, per tant, s'escapen de l'abast del projecte.

Dels tres blocs presentats en què es divideixen els serveis que ofereix ATM a la RMB, el projecte que es presenta a continuació es centra en l'anàlisi i diagnòstic del sistema actual d'autobusos –s'exclou de l'estudi el segon i tercer bloc i el sistema ferroviari del primer bloc. Aquesta exclusió es realitza per a focalitzar l'estudi en un sistema tecnològic concret i no implica que els resultats no siguin aplicables a altres modes de transport.

4. Estat de l'art: Big Data

4.1. Les dades

Una dada és una representació simbòlica –numèrica, alfabètica, algorítmica, espacial, etc.- d'un atribut o variable quantitativa o qualitativa. És, doncs, qualsevol informació que facilita la formació d'una idea, d'una conclusió. Les dades es caracteritzen per no contenir cap informació i la seva importància es troba en la seva capacitat d'associar-se dins un context per a convertir's-hi. [5]

4.2. El concepte de Big Data

Big Data és un concepte que fa referència a l'acumulació massiva de dades i als procediments que s'usen per a identificar patrons recurrents dins d'aquestes dades. Són, doncs, dades que excedeixen la capacitat de processament dels sistemes de bases de dades convencionals i, per tant, cal una forma alternativa per a processar-les. Actualment, el potent hardware accessible a baix cost porta a la facilitat d'adquisició i processament de dades a temps real, aspecte bàsic del concepte BD. Per aquest motiu, el concepte s'associa a la definició de les 3V: Volum, Velocitat i Varietat.

- **Volum:** Big Data es relaciona amb volums de dades que poden anar des de Terabytes (TB) -1000 GB- fins a superar el Petabyte (PB) -1000000 GB [6]. Aquest és el principal atractiu del Big Data: processar quantitats massives d'informació. La gran quantitat de dades obtinguda incrementa la fiabilitat i veracitat dels resultats i porta a informació més contrastada. Veure Figura 4.1.



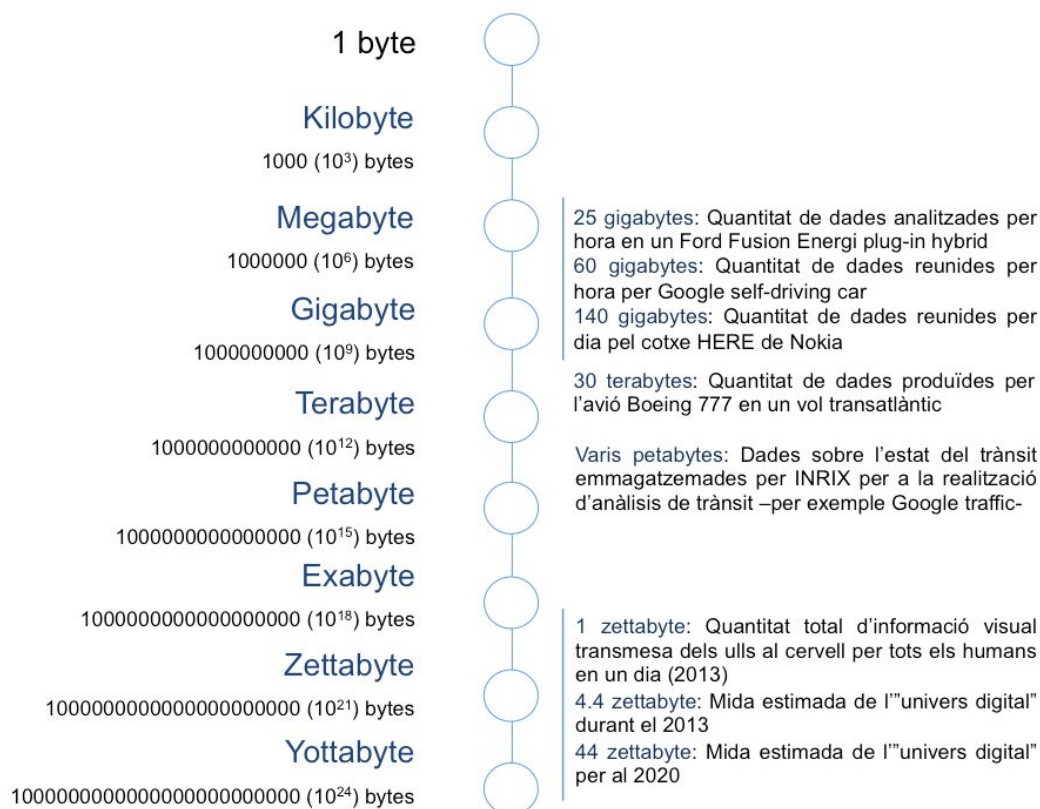


Figura 4.1. Magnitud i bytes equivalents. *Font:* International Transport Forum

- **Velocitat:** Big Data són dades que flueixen a gran velocitat fent possible la transmissió de dades a temps real –un dels objectius del present projecte. La velocitat existeix tant amb la rapidesa amb la qual es crea nova informació com pel temps que triguen en processar-se i enviar-se les dades. Per a ser útils, les dades s'han de recol·lectar, processar i analitzar de forma ràpida, normalment, al mateix moment en què són col·lectades, és a dir, a temps real.
- **Varietat:** Big Data són dades heterogènies, és a dir, generades en diferents formats. Les dades poder ser estructurades si segueixen un format determinat –per exemple, dades numèriques- o no estructurades si no encaixen en cap esquema –en són exemple les coordenades GPS per a la ubicació geoespacial.

Tot i que els termes anteriors són els més comuns a totes les definicions de BD, es poden afegir altres característiques pròpies d'aquest concepte: variabilitat, veracitat i valor.

- **Variabilitat:** Fa referència a la facilitat amb què pot canviar l'origen de les dades o el seu format així com la capacitat que té un sistema BD per adaptar-se a aquests canvis.

- **Veracitat:** Els sistemes tradicionals, que emmagatzemaven una quantitat de dades considerablement menor, tendien a considerar que totes s'igualaven en importància. Big Data, en canvi, s'identifica per la separació que crea entre dades dubtoses i dades veraces. Així, afirma l'existència de dades inexactes o poc fiables.
- **Valor:** Big Data són dades que després d'un anàlisi o processament aporten valor a l'empresa que les analitza. Un sistema Big Data ha d'extreure valor –en forma de nova informació, per exemple- sobre grans volums de dades de la manera més ràpida i eficient possible, adaptant-se a tots els formats –estructurats o no.

4.3. Tipus d'informació

El tipus d'informació generada es classifica segons si és informació processada [6]:

- Dades estructurades: Informació ja processada, filtrada i amb un format estructurat. Serien dades estructurades les que resulten d'una enquesta.
- Dades no estructurades: És informació sense processar i que pot tenir qualsevol estructura. Es pot trobar en qualsevol format: text, imatge, vídeo, codi, etc. Per exemple, les coordenades de GPS generades per a conèixer la ubicació d'un vehicle.

Les eines tradicionals –es parla de tradicionals quan es fa referència a tecnologies anteriors a l'aparició de BD, on no s'apliquen les tecnologies relacionades amb el concepte de “dades massives”- treballen amb dades de tipus estructurat, obligant a passar per un procés de filtrat i transformació –per tal de distingir i transformar aquelles que siguin no estructurades. Això implica un cost addicional i una pèrdua inevitable de dades –que no poden ser transformades o filtrades- que cada vegada és més difícil ignorar i que s'oposa a l'objectiu d'obtenir informació mitjançant una gran varietat de dades que fluctuen a gran velocitat.

Per aquestes raons, una de les característiques principals d'un sistema BD és treballar també amb dades no estructurades permetent així un augment de la velocitat i la variabilitat. D'aquesta forma, s'indueix que el sistema ha de poder emmagatzemar i treballar amb un gran volum d'informació.

Un altra classificació de les dades d'un sistema Big Data podria romandre en 5 tipus: a)Web i mitjans de comunicació social, b)Dispositiu a dispositiu, c)Transacció de grans volums, d)Biomètrica i e)Dades de generació humana –veure Figura 4.2. [7]



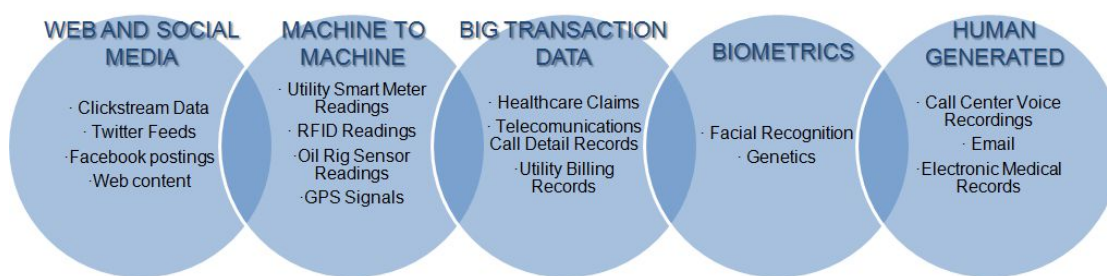


Figura 4.2. Classificació del tipus de dades en un sistema BD. *Font:* DataVersity ®

- Web i mitjans de comunicació social: Inclou contingut web i informació que s'obté de xarxes socials com Facebook, Twitter, LinkedIn, etc.
- Dispositiu a dispositiu (M2M): Fa referència a tecnologies que permeten connectar-se a altres dispositius. M2M utilitza dispositius com sensors o mesuradors que capturen algun fet particular (velocitat, temperatura, pressió, variables meteorològiques, variables químiques com la salinitat, etc.) els quals transmeten a través de xarxes amb fil, sense fil o híbrides a altres aplicacions que tradueixen les dades a informació significativa.
- Transacció de grans volums: Inclou registres de facturació, registres detallats de trucades, etc.
- Biomètrica: Informació que s'inclou en les empremtes dactilars, escàners de retina, reconeixement facial, genètica, etc. En l'àrea de la seguretat i intel·ligència, les dades biomètriques són una font important d'informació per a investigacions.
- Dades de generació humana: Les persones generem diverses quantitats de dades com la informació que es guarda a l'establir una trucada telefònica, notes de veu, correus i documents electrònics, estudis mèdics, etc.

En l'àmbit del transport públic, les dades generades s'inclouen bàsicament en la generació dispositiu a dispositiu i en la creació a partir de l'activitat humana.

4.4. Arquitectura d'un sistema Big Data

L'arquitectura d'un sistema d'anàlisi Big Data és la mateixa que tindria qualsevol sistema d'anàlisi d'informació –veure Figura 4.3. Aquesta, es pot dividir en 5 etapes, on en cadascuna d'elles s'utilitza un ampli conjunt d'eines que faciliten els processos que es duen a terme. [6]

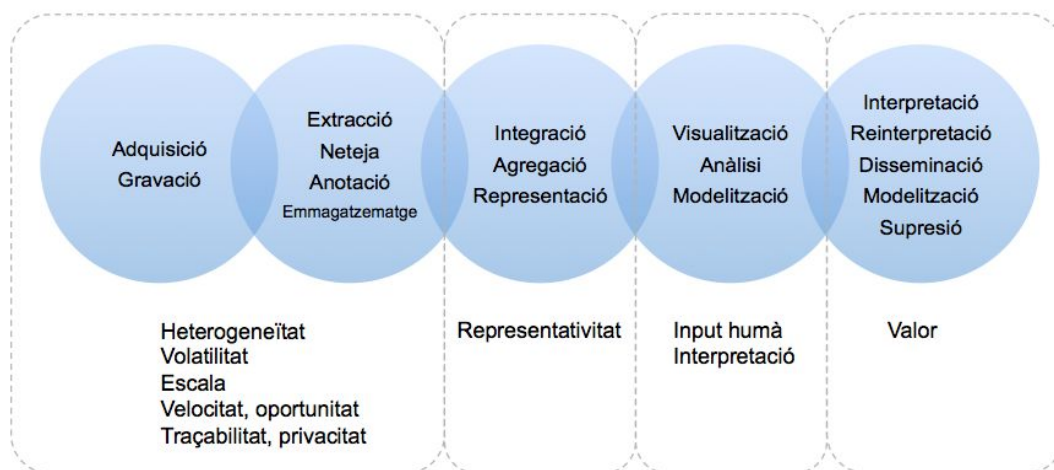


Figura 4.3. Representació de l'arquitectura d'un sistema Big Data. *Font:* elaboració pròpia.

4.4.1. Adquisició de dades

Recol·lecció de dades legals –que compleixen la llei de protecció de dades– que es considera que, després d'un processament adequat, poden aportar informació de valor per a l'entitat que les recull. En Big Data les dades recol·lectades poden constituir una gran quantitat i ser de format no estructurat. Alguns exemples de fonts de procedència de dades poden ser les xarxes socials o sensors. Diferents eines permetran la recol·lecció d'informació a temps real i faran que flueixi de forma ràpida. Un cop recol·lectades s'emmagatzemaran i guardaran per al seu futur processament.

Les dades generades poden ser digitals o analògiques. Si les dades són de naturalesa digital han sigut creades per computació. Són exemples d'aquest tipus de dades:

- Sistema de posicionament global (GPS) o altres dades de geolocalització espacial.
- Segellat de temps² o registre de procés.
- Metadades³ sobre la identitat dels dispositius, l'estat i la ubicació usada pels dispositius mòbils per a mantenir-se connectats a diverses xarxes (GSM, Wi-Fi, etc.).
- Dades produïdes per dispositius, vehicles i objectes amb connexió.
- Validadora de transport públic o altres dades associades a accessos -insígnies, targetes clau, etiquetes RFID, peatges, etc.

² El segellat de temps és un mecanisme que permet demostrar que una sèrie de dades han existit i no han estat alterades des d'un instant específic en el temps.

³ Les metadades són un grup de dades que descriuen altres dades.



- Dades de transacció comercial –ús de targetes de crèdit i registres de transaccions, codis de barres, lectura d'etiquetes RFID, etc.
- Correu electrònic i SMS, metadades relatives a les trucades telefòniques.

Les dades digitals són, doncs, produïdes quan es vol fer front a necessitats específiques. Actualment, la caiguda dels costos de processament i emmagatzematge fa que l'excés en la recollida de dades sigui possible i el cost pràcticament nul. Per aquest motiu, la implantació de sistemes de generació de dades de tipus digital es troba en expansió.

Les dades de naturalesa analògica són aquelles que sorgeixen d'un fenomen físic –llum, so, moviment, presència d'un compost químic o biològic, la impedància magnètica, etc. i arriben a un dispositiu de detecció amb l'objectiu de processar-se per a convertir-se a un senyal digital. L'aparell que capta el senyal analògic és el sensor, concepte on es poden incloure càmeres, micròfons, acceleròmetres, sensors tèrmics, sensors direccionals de presència, etc. Els costos dels sensors han disminuït dràsticament contribuint així a l'expansió d'aquests per a generar dades que provenen d'un fenomen físic. Exemples de dades analògiques són:

- Transmissió de vídeo –de vigilància, en carretera o altres càmeres.
- Contingut àudio de trucades telefòniques de veu, àudio ambiental de les càmeres de vídeo o xarxes de micròfon.
- Moviment/inèrcia –acceleròmetres, sensors ultrasònics, sensors direccionals de presència-, temperatura, radiació d'infrarojos, camps electromagnètics, pressió de l'aire, etc.
- Dades relatives a la freqüència cardíaca, la respiració, la marxa i altres paràmetres físics i de salut.

4.4.2. Extracció, neteja, anotació i emmagatzematge

Més enllà de qüestions de disponibilitat i costos de recollida, un factor important a considerar quan es seleccionen dades és la seva aptitud per a un anàlisi posterior. Un cop analitzats els aspectes importants de la dada d'entrada -per exemple, origen, temps, latitud o longitud- s'inicia la neteja, transformació i modelat d'aquesta per extreure'n conclusions. Diferents tècniques, basades en estadística, informàtica, matemàtiques i economia, permeten aquests processos. Les tècniques per a l'anàlisi de dades en el camp de la mobilitat es poden agrupar en –tot i que no es limiten a aquesta classificació-: [8]

- a. Fusió de dades: Tècniques per a consolidar les dades produïdes per múltiples fonts, com les dades d'ubicació produïdes per telèfons mòbils i vehicles amb GPS.
- b. Mineria de dades: Tècniques per extreure patrons de grans conjunts de dades, com ara les relacions entre nodes en una xarxa de transport.
- c. Optimització: Tècniques per reorganitzar els sistemes i processos complexos amb la finalitat de millorar el seu rendiment d'acord amb un o més paràmetres, com ara el temps de viatge, el temps de parada o l'eficiència del combustible.
- d. Visualització: Tècniques utilitzades per a la generació d'imatges, diagrames o animacions per a comunicar els resultats d'un anàlisi de dades, com ara mapes de trànsit. S'utilitzen per tal de donar sentit a la informació.

Algunes de les tècniques anteriors s'identifiquen com a part de l'arquitectura d'un sistema BD en el transport públic donat el seu grau d'importància.

4.4.3. Integració, agregació i fusió

Les tècniques de fusió de dades agrupen i agreguen diversos conjunts de dades heterogènies creant una representació de la realitat que pot utilitzar-se per entendre-la i treure'n conclusions fiables i contrastades.

4.4.4. Anàlisi, modelat i visualització

4.4.4.1. Minería de dades -Data Mining-

Procés no trivial d'identificació d'informació vàlida, nova, potencialment útil i comprensible, de patrons que es troben ocults en les dades. Engloba tot un conjunt de tècniques encaminades a l'extracció de coneixement implícit en les dades. Els algorismes de minería de dades realitzen diferents tipus d'operacions: [6]

- a) Classificació: Les dades obtingudes es classifiquen d'acord a les categories conegudes. Per exemple, classificació de línies de transport amb zones crítiques o categorització d'autobusos segons el temps de retard mitjà que presenten.
- b) Agrupació: Es busquen patrons de similitud en les dades.
- c) Regressió o predicció numèrica: Es prediuen quantitats numèriques a partir de l'anàlisi de regressió.



- d) Associació: S'identifiquen les relacions entre les dades classificades en conjunts o individualment.
- e) Detecció d'anomalies: S'identifiquen valors atípics o trencaments de patrons en els conjunts de dades.
- f) Resumir, tabular i presentar les característiques més destacades dins els conjunts de dades.

4.4.4.2. Modelatge

Construir i executar models ajuda a provar el impacte i la importància de les diferents variables en un sistema real. Simulant –de forma simplificada- fenòmens del món real, els models ajuden a caracteritzar, comprendre, quantificar i visualitzar relacions que són difícils de captar en sistemes complexos. L'arribada de BD, ha incrementat les possibilitats, l'abast i l'accessibilitat als exercicis de modelatge, tot i que la qualitat d'aquest és proporcional a la quantitat i qualitat de les dades que s'obtenen. Amb això, BD permet la creació de nous models que permetran la formulació de noves preguntes.

4.4.4.3. Visualització i disseminació

Els resultats poden representar-se, per exemple, en mapes interactius que conviden als usuaris a entendre els patrons de mobilitat del seu entorn. El poder d'aquestes visualitzacions es troba en la capacitat d'inspirar a l'acció urbana més rendible i que aporta més facilitat al ciutadà. L'observació de la ciutat a temps real es converteix en un mitjà perquè els usuaris entenguin la realitat present i anticipin els entorns urbans futurs. Durant segles, els humans s'han basat en la representació gràfica de dades per a entendre la informació i fer-la accessible i comprensible. En conseqüència, la recent explosió de dades – BD- també ha patit un augment en les eines per a centrar-se en la visualització efectiva de les dades. Moltes eines destaquen en la representació de la informació utilitzant mètodes tradicionals –taules, histogrames, gràfics de barres, etc.- però aquests mètodes normalment no s'adapten a un públic més enllà de professionals. Per tant, BD es relaciona amb gràfics elaborats que aporten informació, com ara mapes, generant interès i creant un impacte sobre l'usuari. D'aquesta manera, les visualitzacions, per tal de fer-se accessibles, comunicatives i convincents han de ser:

- a) Geoespaciales: El traçat de dades sobre mapes amb informació geogràfica addicional.
- b) Incloure resolució de temps: Observar informació segons, per exemple, hora, setmana i mes en la visualització.

- c) 3D: Les dades representades en 3D per ser immersives i assimilar-se a la realitat.
- d) Amb animació: Navegació en diferents períodes de temps per a fer possible la comparació.
- e) Amb interacció: Capacitat per apropar o allunyar els punts particulars i interactuar amb ells per mostrar informació addicional.

Aquestes visualitzacions poden ser accessibles a través d'un navegador d'Internet o bé aplicacions per a telèfon mòbil. La interfície ha de ser simple i intuïtiva per a fomentar la interacció de l'usuari.

4.5. El potencial del concepte i aplicacions

Big Data es refereix, doncs, a amplis i grans conjunts de dades que es poden adquirir, emmagatzemar i interpretar a través de la tecnologia moderna. El volum, la velocitat i la varietat són, principalment, els atributs distintius d'aquest concepte. D'aquesta manera, Big Data emergeix a causa dels costos decreixents en la ràpida recollida, emmagatzematge, processament, visualització i difusió de dades. Això ve donat, per exemple, per l'aparició de sensors que cada vegada presenten un cost menor i que permeten la transformació d'informació analògica a digital de forma ràpida a temps real convertint-la en informació útil o l'aparició de xips de baix cost amb gran potencial. Big Data evidencia, doncs, el poder de les dades per a millorar la gestió d'una empresa. Però, quin és realment el gran potencial del Big Data? El gran valor del concepte es basa en que permet arribar a conclusions basades en l'activitat real, com és en el cas del transport públic, i no en enquestes que només extreuen mostres d'un conjunt limitat d'usuaris o generant dades que no es transmeten a temps real.

D'aquesta manera, encarar el terme Big Data al sector del transport públic implica:

- Obtenció d'informació a temps real sobre l'estat dels serveis i les accions dels usuaris a partir de la introducció de sensors o dispositius tecnològics avançats per a la captació de dades.
- Arribar a conclusions basades en els patrons d'accions reals dels usuaris per a configurar l'oferta segons la demanda real.
- Gestionar i reestructurar els recursos de forma adequada –això és, autobusos de reserva en línies crítiques, ampliació o reducció de vehicles segons zona o banda horària, etc.
- Millorar els canals d'informació cap a l'usuari per tal d'afavorir l'ús del transport públic.



- Introduir aplicacions de visualització i interacció amb l'usuari per a l'aportació de nova informació.
- Establir l'aproximació o la introducció del terme Open Data.

El sistema de transport públic és la vida d'una ciutat intel·ligent. Contribuir i millorar el transport públic porta conseqüències directes pel que fa a la reducció dels costos totals, la congestió del trànsit i les emissions. Un cop analitzat el que comporta el terme BD, la tecnologia per a millorar el transport públic pot implementar-se incidint en dos dominis: en el vehicle de transport col·lectiu i en el títol de transport de cada individu. Es tracta de construir un sistema de generació de dades que permeti l'anàlisi i l'optimització dels serveis arribant a la organització i la gestió adequada dels recursos.

5. Sistema d'ajuda a l'explotació

Un cop analitzat quines són les característiques bàsiques d'un sistema BD, el present projecte pretén plasmar-les en un nou model tecnològic que permeti l'explotació de dades a temps real per a millorar la informació dirigida a dos focus principals: a) L'usuari i b) L'administració ATM. Això implica el disseny d'un Sistema d'Ajuda a l'Explotació –SAE. [9]

Un SAE és un conjunt de solucions que uneixen diferents tecnologies per a millorar el servei i gestió dels mitjans de transport. Busca, doncs, proporcionar els mitjans per a conèixer i gestionar a temps real el funcionament dels recursos disponibles.

Entre aquestes tecnologies figuren localitzadors GPS, una unitat central de procés i un sistema de comunicacions amb el qual transmetre a temps real les diferents dades generades.

D'aquesta manera, els objectius principals d'un SAE enfocats al present projecte, són:

- Confirmar la regularitat de pas per parada dels autobusos en les diferents línies.
- Informar als passatgers del temps estimat d'arribada del següent autobús.
- Notificar als passatgers dels autobusos operatius en cada moment a temps real.
- Optimitzar les rutes.
- Localitzar els diferents vehicles mitjançant geolocalització.

En conclusió, aquest projecte busca plantejar un SAE per a aportar millores respecte el sistema tecnològic actual de transport públic a la RMB. Aquesta eina de gestió permetrà a l'ATM, les empreses operadores i als usuaris, la localització i posicionament a temps real dels vehicles. Aquest aspecte porta com a conseqüència una millor regulació del servei tenint en compte sempre informació sobre el desfasament dels vehicles respecte la ruta prevista. Així mateix es pretén obtenir informació sobre el nombre d'usuaris que utilitzen cadascun dels vehicles i rebre totes aquelles dades que podrien ser necessàries per a la gestió millorada de la xarxa d'autobusos actual a la RMB.

Quan es parla de voler transmetre informació útil a l'usuari es parla de generar Open Data⁴ - Veure Annex C-: és a dir, informació emesa a temps real per a poder ajudar a l'usuari. Aquest sistema permetrà una millor vigilància i seguiment dels vehicles, gestió del servei, optimització de l'explotació de recursos, informació sobre el desfasament de la ruta i el temps establert, el nombre de viatgers i els paràmetres establerts sobre el funcionament dels vehicles.

⁴ També anomenades Dades Obertes. Es tracta de conjunts de dades que es posen a disposició del públic i poden ser utilitzades i publicades sense cap restricció.



6. Diagnosi del sistema de transport actual d'autobusos a la RMB

Actualment el sistema de transport d'autobusos a la RMB, com dels altres modes de transport públic motoritzat a la regió, es basa en títols integrats regits sota el Sistema Tarifari Integrat –STI. El STI, instaurat l'any 2001, ha suposat la desaparició de la penalització econòmica dels transbordaments entre els diferents operadors i modes de transport públic existents a la RMB. Els objectius principals del STI són:

- Creació d'un sistema de tarifes de fàcil acceptació i comprensió per part dels usuaris.
- Percepció del sistema de transport públic metropolità com una xarxa integrada i unificada.
- Contribuir al posicionament del transport públic com a un sistema atractiu als usuaris.
- Incrementar la qualitat del transport públic.

6.1. Diagnosi administrativa

Les tasques d'ordenació, planificació i coordinació de la xarxa de transport públic de la RMB es reparteixen entre diferents agents amb diferents nivells d'implicació. Existeixen una sèrie d'administracions encarregades de gestionar i coordinar les diferents operadores de transport. S'indiquen, en la Taula 6.1, els principals agents institucionals que intervenen en la gestió de les xarxes de transport públic de la RMB.

Administració competent	Operadora titular del servei
Generalitat de Catalunya	FGC, Autobusos interurbà amb concessió de la DGM, TPC Nit
AMB	Metro, Bus gestió directa Barcelona, Taxi, Nit Bus
Administració de l'Estat	RENFE
ATM	TRAM

Taula 6.1. Relació entre administració competent i operadora titular. *Font:* ATM

Dins aquest àmbit, l'ATM exerceix de ròtula financera del sistema i actua com a únic eix

financer. Veure Figura 6.1. [10]

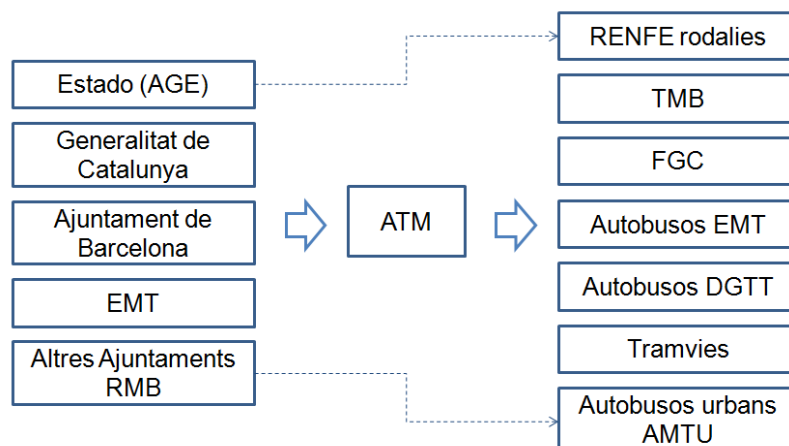


Figura 6.1. Relacions entre administració i operadora. *Font:* elaboració pròpia

Es tracta d'un consorci format per:

- Generalitat de Catalunya: Departament de Política Territorial i Obres Públiques en un 51%.
- Administracions locals en un 49%. S'inclouen Ajuntament de Barcelona, Entitat Metropolitana del Transport -18 municipis veïns de Barcelona- i Ajuntaments amb servei de transport públic urbà propi exteriors a l'EMT –AMTU.

L'Administració de l'Estat Espanyol no n'és membre però assisteix com a observadora als Consells d'Administració i als Comitès Executius.

S'inclou més informació sobre les institucions principals que gestionen el transport públic i la caracterització de l'àmbit d'estudi en l'Annex B.

6.2. Diagnosi tecnològica dels autobusos: sistema de *ticketing*

6.2.1. Bitllet

El bitllet vigent es tradueix en una targeta de paper que es basa en la tecnologia de banda magnètica en la qual queda registrada la informació de l'abonament: per exemple, el nombre de viatges restants o la data d'expiració del títol⁵. Aquest sistema implementat fa més de 15

⁵ Les dades enregistrades no són de domini públic. Els exemples s'intueixen a partir de la codificació impresa en el dors d'una targeta del STI utilitzada.



anys requereix contacte directe amb la validadora: l'usuari ha d'introduir la targeta a la màquina per a validar-la i esperar que aquesta la retorni després d'haver imprès, en el cas de targetes de viatges limitats, un codi basat en 16 dígit numèrics. Entre aquests dígit s'inclou, per exemple, l'hora i la data de validació, el nombre de viatges restants o la zona o corona de validació.

Banda magnètica

La banda magnètica dels títols de transport és de color negre. Això implica que es tracta de bandes magnètiques d'alta coercitivitat. La coercitivitat es tradueix en la força magnètica que presenta la banda per a ser gravada o codificada. La durabilitat és major que en les targetes de baixa coercitivitat ja que requereixen major força magnètica per a ser codificades o descodificades. Per aquest motiu, s'escullen quan la seva freqüència d'ús és alta, com és el cas dels títols de transport on s'utilitzen per al control d'accés. En la Figura 6.2 es mostra un títol de transport vigent amb la banda magnètica i la impressió corresponent.

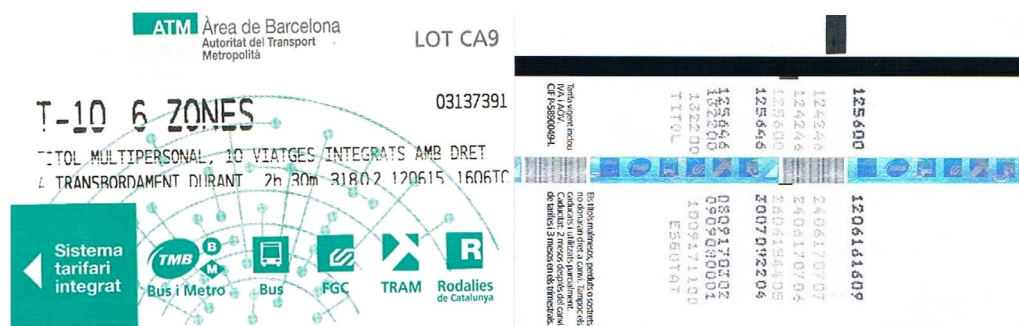


Figura 6.2. Títol de transport actual. *Font:* elaboració pròpia

6.2.2. Validadora i tecnologia de transmissió de dades

La infraestructura tecnològica existent en els autobusos de la RMB consta de validadores que permeten el intercanvi de dades amb la central de control. Indra Sistemas S.A gestiona la tecnologia que hi ha darrera. Els seus clients principals a Barcelona són ATM, TRAM, FGC, TMB, Metro Barcelona i RENFE. L'oferta d'Indra cobreix tots els elements del sistema de control, gestió i supervisió de l'arquitectura del sistema tecnològic. L'arquitectura global es basa en els estàndards de xarxes Internet/Intranet, equips de control d'accessos -Flaps i Torniquets d'accés- i sistemes embarcats. [11]

El sistema de gestió del STI és el centre de gestió i recepció de totes les dades que genera el funcionament del sistema i el processament d'aquestes dades permetrà gestionar tota la informació econòmica i estadística del sistema.

Pel que fa al mode de transport que ocupa el projecte, els autobusos, Indra proporciona els sistemes embarcats i l'arquitectura de connexió al sistema de dades central. Cadascun dels

equips que integren el sistema es comporta com un servidor de Xarxa dotat de la seva corresponent connexió Ethernet i la seva direcció IP.

Des del centre de gestió i supervisió es realitza el control i la supervisió de tots els equips que componen el sistema, així com la gestió de totes les dades recollides pels equips. Les dades són processades i emmagatzemades en les bases de dades del sistema, convertint-se en informació útil per a prendre decisions en l'àmbit de la planificació operativa i estratègica. Tot i així les dades que s'emeten són limitades ja que la tecnologia del títol de transport limita aquesta quantitat. La Figura 6.3 mostra l'arquitectura interior d'una validadora actual d'autobusos.

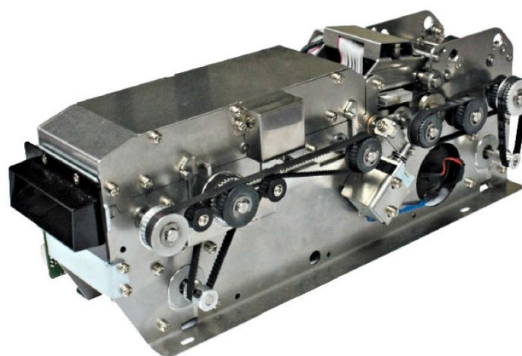


Figura 6.3. Arquitectura interior d'una màquina validadora de targeta amb banda magnètica. *Font:* FQ Ingeniería Electrónica

Es desconeix quines dades són transmeses *on-line* a temps real. Segons TMB⁶, no tota la informació es processa *on-line*. Únicament aquella informació que, per necessitats de la operació són essencials, prescriuen el requeriment d'*on-line*. La limitació de l'enviament a temps real es basa en els principis d'optimització i de la seguretat de la comunicació. Així mateix, la informació que s'enregistra en la banda magnètica i aquella que s'emet a la central de control no és de domini públic. Afirmen que l'ús *on-line* i *off-line* de la informació és prescriptiva per a la gestió d'incidències, planificació del servei i compensació de serveis entre operadors i l'autoritat.

Els autobusos integrats a la RMB, estan dotats de Sistemes per a la Venda i Validació –SVV- i Sistema d'Ajuda a l'Explotació –SAE. Algunes de les actuacions ja establertes en el sistema actual són la implementació d'un SAE que millora la gestió del servei –molts dels operadors de la RMB funcionen amb el SAE de l'ATM de la RMB, plataforma multiflota de gestió centralitzada.

En aquest cas es tracta d'autobusos dotats de –veure Figura 6.4: [12]

⁶ Informació obtinguda a partir d'una entrevista realitzada a Carlos Luque Dengra, Responsable de la Unitat de Tecnologies de Venda i Accés al Transport a Transports Metropolitans de Barcelona (TMB).



- PC: L'ordinador es troba connectat al missatge de veu per a passatgers –en cas que l'autobús disposi d'aquest servei-, al mòdem, a l'odòmetre, a la consola SAE del conductor i al comptador sortida amb detecció per infraroig –en cas que l'autobús en disposi. Allò que es genera al PC s'envia mitjançant connexió GPRS als equips de gestió SAE de l'ATM, que posteriorment ho enviaran al centre de Gestió de Flota d'un Operador.
- Consola que aporta el SVV a l'entrada. Les dades generades es transmeten per IrDA - Infrared Data Association⁷- als equips de gestió de la integració tarifària de l'ATM.
- Consola SAE del conductor, que està connectada al PC del vehicle es generen missatges que s'envien mitjançant GPRS als equips de gestió de l'ATM.
- Odòmetre: aparell que mesura la distància recorreguda per un vehicle. Aquest aparell està connectat al PC del vehicle i també envia les dades mitjançant GPRS als equips de gestió de l'ATM.
- Comptador sortida: Es tracta d'un sistema basat en detecció per infraroigs que està connectat directament amb el PC. No tots els vehicles en disposen.

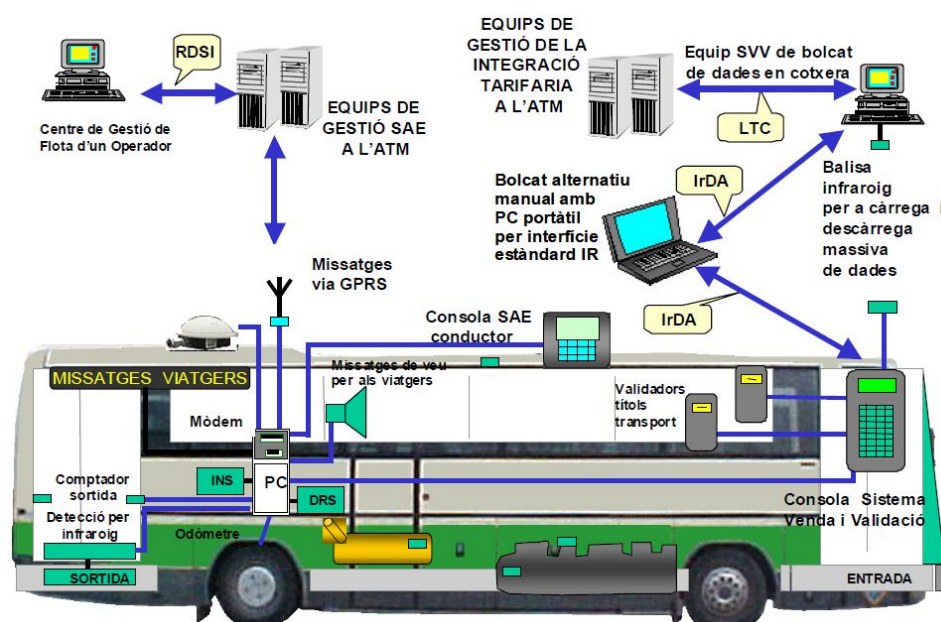


Figura 6.4. Esquematzació de l'arquitectura actual d'un autobús de la RMB. *Font:* Sermetra S.L

Així mateix, actualment, és possible, en algunes parades de la RMB gestionades per TMB, conèixer el temps aproximat restant per a que arribi el proper autobús a una parada

⁷ Defineix un estàndard físic en la forma de transmissió i recepció de dades per raigs infraroigs.

determinada. La previsió del temps d'arribada d'un autobús s'estrenava el setembre de 2005 en 8 línies de TMB i s'havia d'enviar un SMS des d'un telèfon mòbil amb el codi de la parada i esperar la resposta o bé consultar a través del navegador del mateix telèfon. Actualment, aquesta previsió es pot conèixer a partir de 334 pantalles situades a les parades –existeixen pantalles clàssiques de LEDs, pantalles solars de diferents models i pantalles tàctils-, les aplicacions mòbils –TMB Virtual i TMB Maps-, la web de TMB i la seva versió mòbil a més del sistema original per SMS per a totes les línies de la xarxa. Així mateix, és possible conèixer-ho escanejant el codi QR que es troba en la parada per tal que s'obri el navegador amb la informació. Aquest servei és una millora substancial ja que ajuda a l'organització del trajecte i promou l'estalvi del temps. Això és possible gràcies a la incorporació de tecnologies avançades dins el camp de la gestió d'autobusos. El posicionament GPS de l'autobús en el seu itinerari es transmet a través del SAE. La previsió és única ja que la realitza el mòdul de previsions i l'envia al servidor únic de previsions. Poden existir petites diferències segons el canal de consulta ja que uns van directament al servidor i d'altres, com les pantalles de les parades, es transmeten per via telefònica i a través d'un altre servidor –integrador. Aquesta previsió es calcula tenint en compte la velocitat instantània de l'autobús, la distància de la parada i l'historial de temps de recorregut assolits en el mateix tram en dies anteriors. D'aquesta manera, s'incorpora l'efecte que probablement tindran els semàfors, per exemple, en el temps de trajecte. El SAE refresca la informació de posició de cada autobús amb una freqüència variable, per sota de 40 segons mentre que les pantalles refresquen les dades en un cicle intern d'entre 20 i 40 segons. Veure Figura 6.5.

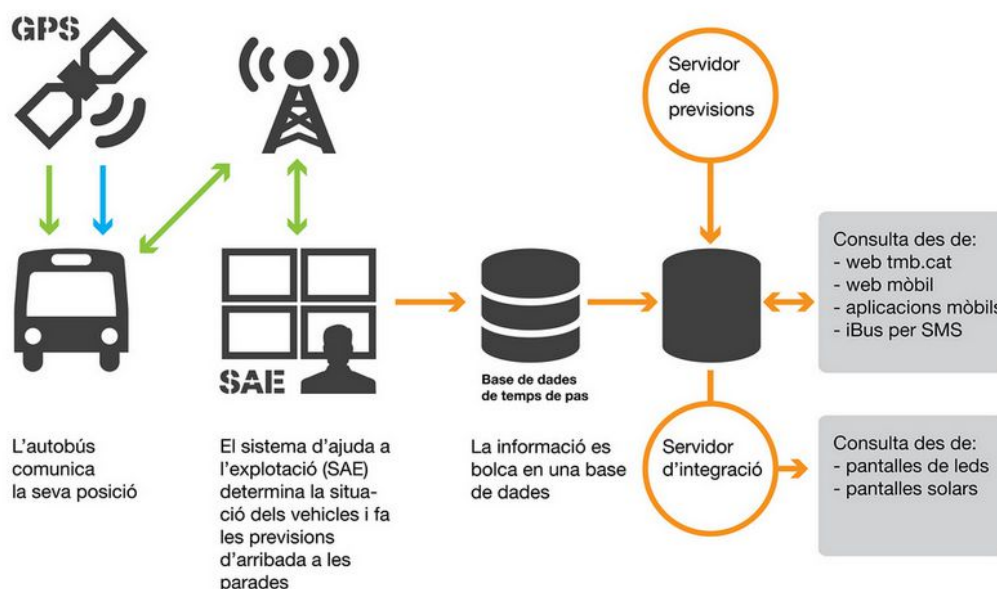


Figura 6.5. Sistema TMB iBus per a la previsió del temps de pas dels autobusos. *Font:* TMB



6.3. Detecció de problemes i possibles millores

El panorama tecnològic actual porta a considerar obsoletes les tecnologies vigents en el sistema d'autobusos a la RMB. Les noves tecnologies permeten avançar tant a nivell qualitatiu com quantitatiu: l'evolució tecnològica condueix cap a les dades massives que aporten qualitat associada amb la quantitat. Per aquest motiu, des de l'ATM s'ha promogut un nou projecte, la T-Mobilitat, que pretén arribar a la innovació tecnològica. Veure l'Annex D.

Actualment, la tendència a escala nacional i internacional en l'entorn del transport públic de viatgers pel que fa als sistemes de venda i validació –SVV– és la implantació de nous sistemes basats en la tecnologia sense contacte. Juntament amb un SAE, l'objectiu és obtenir un coneixement real de la situació dels serveis de transport.

Existeixen molts punts de millora en el sistema actual. Amb això, es presenta un ampli ventall de possibilitats per a arribar a crear un sistema que generi informació massificada a temps real i, per tant, sigui més veraç que el sistema vigent. D'aquesta manera, es detecten diferents mancances en el servei de transport públic de passatgers actual, en concepte d'usuari i empresa. Veure Taula 6.2.

1. **Ús elevat del transport privat.** El vehicle privat guanyava la quota al vehicle públic l'any 2014 a la RMB. La independència, la ruta directa, la rapidesa i l'accessibilitat elevada porten a desbancar el transport públic en alguns casos. [12]

Proposta: L'usuari vol un transport públic fiable, còmode i ràpid de gestionar. Això és possible oferint nous avantatges i informació útil per a l'usuari sobre la ruta a realitzar. És a dir, noves tecnologies que facilitin l'ús del transport públic als usuaris, eines de gestió de viatges i eines que proporcionin informació a temps real. D'aquesta manera, l'usuari tindrà coneixement de totes les opcions de ruta vinculades a la duració del trajecte a temps real.

Això portaria a renovar el sistema tecnològic actual per a oferir una versió més nova i informativa al passatger.

2. **Desconeixement de la ubicació dels autobusos a temps real.** L'usuari, a l'optar pel transport públic, desconeix la ubicació actual dels autobusos en els quals podria viatjar. Si aquestes dades fossin conegudes, la decisió sobre la ruta òptima per arribar al destí seria contrastada i veraç. Actualment, l'usuari desconeix aquestes dades i decideix la ruta de forma aleatòria.

Proposta: Avanç tecnològic per a poder generar informació útil per al passatger i utilitzar-la per a millorar el servei. L'usuari podria accedir a aquesta informació mitjançant plataformes web o aplicacions per a mòbils. Caldria generar informació a temps real i plasmar-la de forma visual i còmode per a oferir-la a l'usuari.

3. **Línies crítiques per massificació o absència de passatgers.** Moltes línies d'autobusos presenten punts crítics, bé per tenir demanda major a l'oferta o a l'inversa. El conflicte és clar: hi ha punts crítics en algunes línies on hi ha passatgers que no poden sumar-se al servei a causa que s'ha arribat a l'aforament màxim del vehicle. Així mateix, en altres casos, existeixen vehicles en algunes línies en què el nombre de passatgers no supera la quarta part de l'aforament màxim.

Proposta: Tant l'ATM com l'empresa operadora corresponent han de tenir consciència de la situació. Per a poder identificar aquestes situacions i solucionar el conflicte cal tenir un control del nombre de passatgers que es troben en el vehicle a temps real. D'aquesta manera, conèixer el nombre de passatgers permetria reforçar el servei, calcular si és necessari adquirir una flota de reserva o reduir freqüències de pas en els punts crítics.

4. **Tecnologia de *ticketing* obsoleta.** Actualment la tecnologia que s'utilitza a la RMB es basa en la banda magnètica. Això porta a temps de validació llargs degut al lent procés de lectura i gravació del bitllet. Aquest aspecte, en hores puntes i punts crítics amb gran densitat de passatgers, genera cues i temps d'espera elevats a l'entrada del vehicle. Així mateix, aquesta tecnologia s'allunya del concepte de dades massives. A més a més, el suport del bitllet és de paper: això porta a targetes que tenen un ús reduït i que poden deteriorar-se dificultant la lectura de la banda magnètica.

Proposta: Realitzar un estudi del mercat tecnològic pel que fa a sistemes de *ticketing* i proposar una tecnologia actual, moderna, còmode i que eviti els conflictes existents. Arribar a un nou sistema de *ticketing* que permeti més funcionalitat i avantatges. Un nou bitllet, amb un suport més innovador: deixant de banda el paper i entrant a la tecnologia més moderna.

5. **Manca d'informació i capacitat d'informar baixa.** L'usuari disposa de dades generals pel que fa a la mobilitat i, en alguns casos, s'informa en algunes de les parades de la RMB el temps restant per a que arribi el proper autobús. Tot i així, manca informació amb un major grau de detall que permeti arribar a l'optimització dels serveis i al control del sistema a temps real. Informació més concreta permetria ajustar l'oferta de servei a la demanda real.

Proposta: Cal implementar un sistema que permeti la captació d'informació a temps real que permeti el coneixement de dades tant a l'empresa com a l'usuari. Augmentant la capacitat de generar informació, millora el servei ja que s'informa al client per a entendre l'estat, a temps real, del servei. Els sistemes de billetatge electrònic permeten combatre la manca d'informació. Proporcionen informació completa i a temps real sobre l'ús del transport públic.

6. **Costos d'explotació i manteniment elevats.** Actualment els costos d'explotació de



dades i manteniment del sistema són elevats. El motiu és que el sistema utilitzat a la RMB queda obsolet si es compara amb el marc tecnològic europeu en aquest àmbit.

Proposta: Implantació d'un canvi en el suport de ticketing i en el sistema de validació. La introducció de la targeta electrònica com a suport dels títols integrats considera els avantatges d'aquest nou sistema: reducció dels costos d'explotació i de manteniment i augment de la capacitat d'informació.

- 7. Impuntualitat del servei.** Existeixen punts conflictius on l'autobús no es ceneix als horaris establerts. En l'actualitat, el control d'aquests aspectes és complicat ja que és difícil conèixer la diferència que existeix, a temps real, entre el temps de viatge real i el que està estipulat per aquella ruta. Així mateix, no es connecta aquesta informació amb la identitat del vehicle o bé la del conductor.

Proposta: Un sistema que permeti la generació de dades a temps real del temps del recorregut actual i el temps estipulat, la identificació del vehicle i el conductor, relacionades sempre amb la línia i el recorregut. Generar, processar i enviar aquestes dades és possible amb la tecnologia actual.

Conflicte	Proposta
Ús elevat del transport privat	Transport públic de gestió ràpida
La independència, la ruta directa, la rapidesa i l'accessibilitat elevada porten a desbancar el transport públic en alguns casos.	Oferint informació útil a temps real per a l'usuari sobre la ruta a realitzar mitjançant noves tecnologies.
Desconeixement de la ubicació dels autobusos a temps real	Avanç tecnològic per a generar informació sobre la ubicació
Si aquestes dades fossin conegudes, la decisió sobre la ruta òptima per arribar al destí seria contrastada i veraç.	L'usuari podria accedir a aquesta informació a temps real mitjançant plataformes web o aplicacions per a mòbils.
Línies crítiques	Descongestió del servei o eliminació de rutes
Excés o absència de passatgers en alguns punts del trajecte o línies.	Control sobre el nombre de passatgers que es troben en el vehicle a temps real per a poder eliminar rutes o afegir vehicles en punts de congestió.
Tecnologia de <i>ticketing</i> obsoleta	Estudi del mercat tecnològic pel que fa a sistemes de <i>ticketing</i> basats en targetes

	intel·ligents
Tecnologia basada en banda magnètica sobre suport de paper que porta a desgast del bitllet i temps de validació llargs i, per tant, generació de cues. La tecnologia tampoc permet aplicar el concepte de dades massives.	Proposar una tecnologia actual, moderna, còmode, funcional i duradora.
Capacitat d'informació baixa	Major captació d'informació a temps real
Informació més concreta permetria ajustar l'oferta de servei a la demanda real.	Sistema per a la captació de dades a temps real tant per a l'usuari com l'empresa. Més informació és més qualitat per al servei.
Costos d'explotació i manteniment elevats	Implantació d'un nou sistema de <i>ticketing</i> i sistema de validació
El sistema utilitzat a la RMB queda obsolet si es compara amb el marc tecnològic europeu en aquest àmbit.	Un sistema tecnològic avançat permet reduir els costos d'explotació i augmentar la capacitat d'informació.
Impuntualitat del servei	Control d'horaris
Punts conflictius on l'autobús no es ceneix als horaris establerts.	Generar dades a temps real del temps del recorregut actual i el temps estipulat, la identificació del vehicle i el conductor, relacionades sempre amb la línia i el recorregut.

Taula 6.2. Conflictes detectats i propostes de solució. *Font:* elaboració pròpia



7. Model plantejat

7.1. Explotació de dades: quines dades cal analitzar

A través de les noves tecnologies es pretén arribar a un model de generació de dades a temps real que permeti explotar aquella informació necessària per a garantir un control del sistema de transport que porti a la satisfacció de l'usuari.

Per a fer-ho, és necessari:

Generació de dades vinculades al recorregut del vehicle

- a) Coordenades GPS de la ubicació a temps real del vehicle durant tot el recorregut
- b) Identificació del vehicle: matrícula, aforament total, any, model, titular, VIN⁸, etc.
- c) Identificació de la ruta: origen i final de la ruta
- d) Franja horària programada per a la ruta: hora de sortida de l'origen i hora d'arribada a la destinació
- e) Línia
- f) Operador
- g) Identificació del conductor

Generació de dades al validar la targeta de viatge

- h) Coordenades GPS de la ubicació on es valida la targeta de viatge: latitud i longitud. Aquestes dades permetran conèixer on s'ubicava el vehicle en el moment de la validació.
- i) Parada d'autobús on comença el trajecte
- j) Dia de validació
- k) Hora de validació
- l) Número de passatger per a conèixer l'ocupació a temps real del vehicle

Per a poder explotar la informació de forma útil és necessari vincular les dades que es generen al validar la targeta amb aquelles que es relacionen amb el vehicle on entra el passatger. D'aquesta manera es generaran uns dígits que s'emetràn i processaran a temps real. Això proporciona informació valuosa sobre els patrons que segueixen les línies d'autobús interurbà que es pot utilitzar tant per a la optimització del servei com per a la informació dels usuaris. D'aquesta manera, per a cada validació s'emetrà un vector de dades com el següent:

{Posició de validació, Vehicle, Ruta, Operador, Línia, Identificació del conductor, Dia de validació, Hora de validació, Parada d'autobús, Número de passatger}

⁸ Vehicle Identification Number

Exemple: {(41.5846959,1.59172430), 120, IB16001645, HI, IB, 104, 03112015, 1550, 530, 10}

7.2. Tecnologia per a la captació de dades a temps real

Un cop definides les variables que s'haurien d'analitzar per tal de conèixer i optimitzar el sistema de transport, cal estudiar quina és la tecnologia que permet implementar un sistema per a generar les dades, processar-les i enviar-les. D'aquesta manera, cal concretar quins sistemes facilita l'enginyeria actual per a poder adquirir dades a temps real. Així, és necessari definir els dispositius vinculats a la generació de dades sobre el recorregut del vehicle i en el moment de validar el bitllet de l'usuari. Caldrà tenir en compte que l'objectiu principal és obtenir, d'aquests dispositius, dades a temps real per tal de poder modelar posteriorment la realitat i obtenir eines per a millorar el transport i informar de forma eficaç l'usuari.

Generació de dades vinculades al recorregut del vehicle

- a) Dispositiu GPS embarcat al vehicle.
- b) Dispositiu que permeti la introducció de dades constants com la referència del vehicle, l'operadora, la ruta, etc.
- c) Altres sensors i hardware

Generació de dades al validar el bitllet de viatge

- a) Dispositiu adquirit per l'usuari i que aquest utilitzarà com a prova de pagament –el títol de transport. Al validar-lo, permetrà la generació del vector de dades. Es parla, en aquest punt, de targetes: magnètiques o intel·ligents.
- b) Dispositiu de validació. En el cas dels autobusos, es tractarà d'una validadora embarcada. Al rebre el senyal de la targeta caldrà generar les dades descrites.
- c) Tecnologia per a l'enviament d'informació.

Per a que el sistema funcioni cal, doncs, definir per una banda el conjunt de maquinaria que serveix per a interactuar entre l'administració pública que gestiona el transport públic i les necessitats dels usuaris i per l'altra, l'eina que permet a l'usuari utilitzar el transport públic, el bitllet o títol de transport. Cal tenir en compte que ha de ser una tecnologia còmode per l'usuari i instal·lable tenint en compte que hauria de cobrir, a la RMB, 2.173 autobusos per a 51 empreses operadores diferents amb la maquinària de validació i els sistemes corresponents per a la optimització. [4]

Es mostra a continuació un anàlisi de la tecnologia possible per a arribar a un nou sistema de validació del transport públic que permeti, alhora, la generació de dades a temps real. Per tal d'escollir la solució tecnològica que millor s'adapti a les necessitats i a l'anàlisi de dades



proposat durant la validació en autobusos de la RMB s'ha avaluat l'oferta del mercat tecnològic actual i s'han tingut en compte els sistemes que regeixen en altres països del món pioners en aquest àmbit. D'aquesta manera, la decisió final es duu a terme tenint en compte els requeriments del projecte –l'objectiu principal és la generació de dades a temps real per tal d'optimitzar el servei i aportar informació útil als usuaris- i segons un anàlisi exhaustiu tecnològic per tal de treure el màxim benefici de la tecnologia actual, cada cop més precisa, més polivalent i en minvament de costos.

7.2.1. Tecnologia del bitllet: possibilitats

En un primer lloc, analitzant el panorama actual, s'observa que el bitllet que s'utilitza a la RMB és una targeta de paper amb banda magnètica. Aquestes targetes s'allunyen ja de la tecnologia que s'ha implantat en ciutats pioneres pel que fa a la tecnologia dels títols de transport. Actualment, es presenten en el mercat dues grans possibilitats:

- a) Ús de targetes intel·ligents com a títol de transport
- b) Ús de dispositius mòbils com a títol de transport mitjançant tecnologia NFC⁹

D'entre aquestes dues possibilitats, el present projecte procedirà a analitzar únicament la primera opció. Es desestima la segona per tractar-se d'una tecnologia que encara no s'ha implantat de forma definitiva en un sistema de transport sinó que només s'han dut a terme simulacions del possible model. Així mateix, la generació de dades es vincularia amb un usuari per mitjà del dispositiu mòbil i, d'aquesta manera, la vulneració de la privacitat seria un aspecte desfavorable. Cal tenir en compte que la generació de dades a temps real que té com a objectiu el projecte és assolible perfectament mitjançant l'ús de targetes intel·ligents com a títol de transport.

Actualment, entre la tecnologia referent a targetes existent és possible escollir entre targetes magnètiques i targetes intel·ligents –targetes RFID i NFC. La diferència principal entre les targetes amb banda magnètica i les intel·ligents és que les últimes contenen un xip intel·ligent –veure Figura 7.1. Aquest, pot ser només de memòria o contenir un microprocessador –CPU- amb un sistema operatiu que li permet realitzar tasques com emmagatzemar, encriptar informació i llegir o escriure dades. Es mostra l'anàlisi de robustesa a l'Annex E.

⁹ Near Field Communication

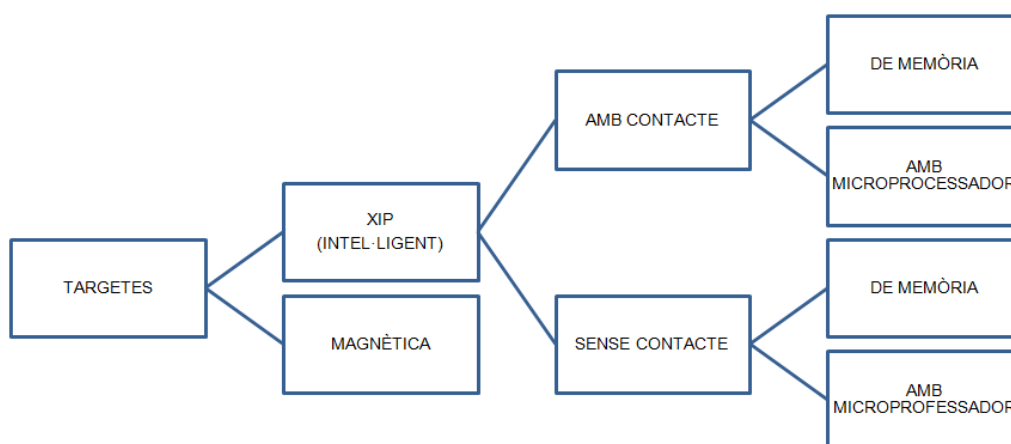


Figura 7.1. Tipologia de targetes. *Font:* elaboració pròpia

A continuació s'exposen les principals característiques de cadascun dels tipus de targetes esmentats per a poder procedir, posteriorment, a una valoració final i proposta.

a) Targeta magnètica

Es tracta d'una targeta estàndard amb una pista magnètica al seu revers. Aquesta banda magnètica s'usa per a llegir i gravar dades en un control d'accés, en un sistema de fidelització o en targetes bancàries. Les dades es codifiquen magnèticament en la banda. La banda presenta una amplada d'aproximadament 12 mm i el medi magnètic es compon de diminutes partícules ferromagnètiques en forma d'agulla disperses sobre un substrat flexible –normalment resina. En el procés de fabricació, aquestes agulles s'orienten paral·leles a la dimensió major de la banda. A l'aplicar camp magnètic extern, les agulles es magnetitzen de forma permanent i la seva posició varia segons la polaritat del camp –N-S o S-N. El camp magnètic és subministrat per un electroimant, la polaritat del qual depèn de la direcció del corrent elèctric.

Existeixen dos tipus de targetes magnètiques que es distingeixen segons la força electromagnètica requerida per a codificar la banda –coercitivitat- la qual cosa afecta la seva durabilitat:

- Baixa coercitivitat (LO-CO): La banda magnètica de baixa coercitivitat requereix menor força electromagnètica per a ser gravada o codificada. L'ús d'aquest tipus de targetes és útil en aplicacions que requereixin renovacions contínues o targetes amb validesa curta ja que, igual que el seu cost, la durabilitat és menor.
- Alta coercitivitat (HI-CO): La durabilitat és major ja que requereixen una major força electromagnètica per a ser tant codificades com descodificades. Són destinades a aplicacions d'alta freqüència d'ús.

Codificació de la banda magnètica

La banda magnètica pot ser gravada en 1, 2 o 3 pistes. Segons la pista codificada es permet



un conjunt de caràcters numèrics o alfanumèrics en la gravació. Veure Taula 7.1.

Pista	Nombre de caràcters	Nombre de caràcters
1	79	!"#\$%&'()*+,-./0123456789:;<=> @[]ABCDEFGHIJKLMOPQRSTUVWXYZ[]^_
2	40	0123456789:;<=>?
3	107	0123456789:;<=>?

Taula 7.1. Gravació segons pistes en una targeta magnètica. *Font:* Universitat Politècnica de Catalunya

b) Tecnologia RFID¹⁰

Són conegudes també com targetes *contactless* –sense contacte- o targetes de proximitat –únicament és necessari aproximar-les al lector dins d'un rang de lectura variable que pot oscil·lar entre 2 i 3 cm fins a desenes de metres en funció del seu ús. Un dels avantatges de la tecnologia RFID és que no requereix visió directa entre receptor i emissor.

Aquesta tecnologia permet identificar automàticament un objecte a través d'una ona emissora incorporada en aquest que transmet per radiofreqüència les dades identificatives d'un objecte, sent aquesta identificació normalment unívoca. Actualment, sota les sigles RFID s'agrupen tecnologies que identifiquen objectes a partir d'ones de radio.

Les targetes RFID contenen un tipus de tecnologia sense fils d'intercanvi de dades. La lectura i gravació de dades es realitza a partir d'un xip connectat a una antena que rep senyals de radiofreqüència des d'un dispositiu de lectura i gravació –en el cas del sector del transport públic, la màquina validadora. Aquesta operació es realitza sense necessitat de contacte físic i el intercanvi de dades es produeix automàticament sense haver d'activar la lectura RFID externament.

Els sistemes RFID consten d'etiquetes –conegudes en anglès com a *tags*-, lectors i software per a processar les dades. El lector envia un senyal de ràdio que és rebuda pels *tags* presents en el camp de radiofreqüència sintonitzat amb aquella freqüència. Les etiquetes reben el senyal a través de l'antena i responen transmeten les dades que emmagatzemen. El *tag* pot emmagatzemar molts tipus de dades –números, instruccions, dates, ubicacions, dades proporcionades per sensors, etc. El dispositiu de lectura/escriptura rep el senyal del *tag* a través de la seva antena, la descodifica i transfereix les dades al sistema informàtic a través de connexió amb o sense fils. A continuació s'especifiquen els diferents components d'un sistema RFID.

¹⁰ Radio Frequency Identification o Identificació per Radiofreqüència

- Les etiquetes RFID –tags-: Permet emmagatzemar i enviar informació a un lector a través d'ones de radio. Consten d'una antena, un transductor ràdio i un microxip. El xip i l'antena, muntats, formen un integrat. Veure Figura 7.2. L'antena és l'encarregada de transmetre la informació que identifica l'etiqueta. El transductor és el que converteix la informació que transmet l'antena i el xip posseeix memòria interna per a emmagatzemar el nombre d'identificació i en alguns casos dades addicionals. Són dispositius petits – dimensions fins a 0,4 mm²-, simples i econòmics –uns cèntims d'euro- que són incorporats a la targeta.

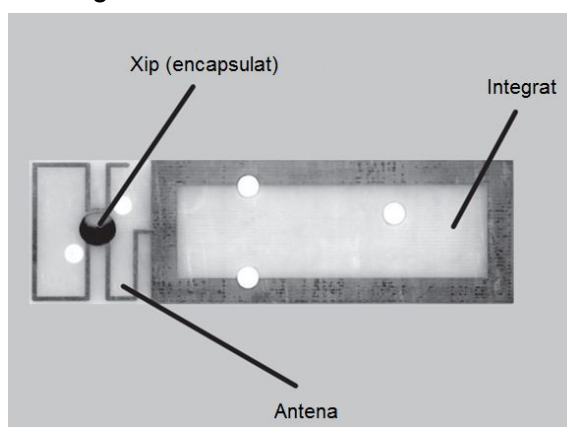


Figura 7.2. Components del tag RFID. Font: Intermec Technologies

- Lector de RFID: S'encarrega de rebre la informació emesa per les etiquetes i transferir-la al *middleware* o subsistema de processament de dades. Les parts del lector són: antena, transceptor i descodificador. Alguns lectors incorporen un mòdul programador que els permet escriure informació a les etiquetes si aquestes permeten l'escriptura.
- Subsistema de processament o *middleware*: Software que resideix en un servidor i que serveix d'intermediari entre el lector i les aplicacions empresarials. S'encarrega de filtrar les dades que rep el lector o la xarxa de lectors, de forma que només arribi informació útil a les aplicacions software.
- Programadors RFID: Dispositius que realitzen l'escriptura d'informació sobre l'etiqueta RFID, és a dir, codifiquen la informació en el microxip existent en l'etiqueta. La programació de les etiquetes es realitza una única vegada si són únicament de lectura o varies vegades si són de lectura/escriptura.

En resum: les etiquetes o *tags* envien informació al lector mitjançant una antena i aquest, transmet al subsistema de processament de dades que s'encarrega de filtrar les dades per a que només arribi informació vàlida a les aplicacions software. S'esquematitza a la Figura 7.3.



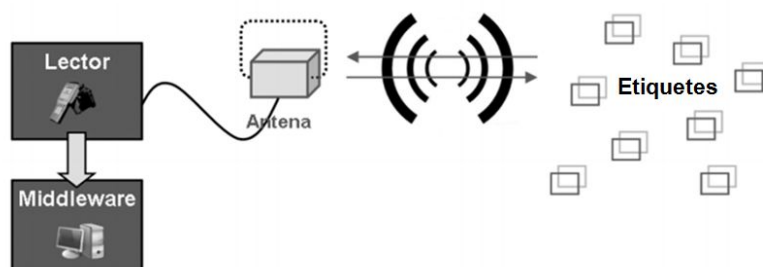


Figura 7.3. Funcionament d'un sistema basat en la tecnologia RFID. *Font:* elaboració pròpia

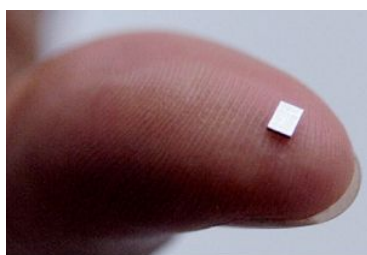


Figura 7.4. Etiqueta passiva.
Font: Robertson Packaging

Els *tags* es classifiquen entre actius, passius i semipassius. Els *tags* passius –veure Figura 7.4- no necessiten una font d'alimentació interna ja que tota l'energia que requereixen és subministrada pel camp electromagnètic creat pel lector, que s'encarrega d'activar el circuit integrat i alimentar el xip per a que aquest transmeti una resposta. L'abast d'aquestes etiquetes depèn de molts factors com ara la freqüència de funcionament o l'antena de la qual disposen. Arriben a distàncies d'entre pocs mil·límetres i 6-7 metres. Al no posseir

bateria interna són les etiquetes de menor mida i les més econòmiques del mercat. Les targetes de transport acostumen a utilitzar aquesta tecnologia.

Les etiquetes actives posseeixen bateria interna amb la qual alimenten circuits i transmeten la resposta al lector. La seva cobertura de difusió és major gràcies a que posseeixen bateria pròpia i la seva capacitat d'emmagatzematge també és superior. Al transmetre senyals més potents el seu abast, fiabilitat i seguretat són majors. Són les més cares del mercat i les de major mida. El possible rang de cobertura efectiu pot arribar a centenars de metres i la vida útil de la seva bateria pot arribar fins els 10 anys.

Les etiquetes semipassives activen el xip utilitzant bateria però l'energia que necessita per a comunicar-se amb el lector és enviada pel mateix mitjançant ones ràdio. Són més grans i més cares que les etiquetes passives –disposen de bateria- però més barates i de menor mida que les actives.

Es comparen les tecnologies d'etiqueta activa i passiva a la Taula 7.2.

	Activa	Passiva
Bateria	Si	No
Font d'alimentació	Interna a l'etiqueta	Energia transferida per radiofreqüència del lector

Disponibilitat d'energia	Continua	Només en el camp del lector
Intensitat de senyal requerida	Molt baixa	Molt alta
Cobertura	Fins a 100 metres	Fins a 3-5 metres, normalment menys
Emmagatzemant de dades	Fins a 128 Kb de lectura/escriptura	128 bytes de lectura/escriptura

Taula 7.2. Comparativa entre dispositius passius i actius. *Font:* elaboració pròpia

D'aquesta manera, els avantatges d'usar la tecnologia RFID són l'alt volum d'emmagatzemament de dades, la major durabilitat, la facilitat d'ús i l'alt nivell de velocitat.

Depenent de la freqüència utilitzada, les targetes de proximitat poden classificar-se en baixa –LF–, alta –HF– i ultra-alta freqüència –UHF. La freqüència determina aspectes com la velocitat i la cobertura de lectura de la targeta. Per tant, hi ha quatre tipus bàsics de targetes RFID actualment: a) LF passiva, b) HF passiva, c) UHF passiva i d) UHF activa. Es mostren en les Taules 7.3 i 7.4 les característiques principals i possibles aplicacions.

Paràmetre	Tecnologia			
	LF Passiva < 135 kHz	HF Passiva 13,56 MHz	UHF Passiva 868-950 MHz	UHF Activa 433-5,8 GHz
Distància de lectura	Alta	Mitjana-baixa	Alta	La major
Velocitat de les dades	4 Kbps – 8 Kbps	6,7 Kbps – 848 Kbps	Alta	Alta
Lectura d'etiquetes múltiples	10s	100s	1000s	1000s

Taula 7.3. Característiques tecnològiques. *Font:* Texas Instruments



LF passiva	HF passiva	UHF passiva	UHF activa
Bestiar i animals domèstics	Transport públic	Venda al detall	Inventaris
Control d'accés	Entrades intel·ligents	Logística	Peatge
Immobilitzadors de vehicles	Llibres	Inventaris	Logística / Contingut en contenidors
Gestió de residus	Medicina	Medicina	Gestió de flotes
	Passaports	Equipatge i càrrega aèria	
	Eines	Control d'accés	
	Aplicacions NFC	Gestió de residus	

Taula 7.4. Àrees d'aplicació. *Font:* Texas Instruments

D'aquesta manera s'observa que en l'àmbit del transport públic la targeta més usada és la que incorpora tecnologia **RFID HF passiva**, que presenten una freqüència de **13,56 MHz**. Per a aquesta freqüència les targetes RFID més comuns usades en l'àmbit del transport públic són les targetes Mifare. Aquestes, incorporen un xip d'alta freqüència, tant de lectura com d'escriptura. Permeten, doncs, codificar qualsevol tipus de dada. Normalment, presenten 1 KB o 4 KB de memòria. També s'utilitzen targetes NFC: es tracta d'un subconjunt de la tecnologia RFID i es defineix com una tecnologia HF passiva. Tot i així, es un subgrup prou important i moltes vegades es tracta per separat. NFC es basa en 13,56 MHz sense contacte.

7.2.2. Comparativa de tecnologies

Es mostra una comparativa de les tecnologies referents a les diferents arquitectures de la targeta de transport a la Taula 7.5.

Paràmetre	Targeta magnètica	Targeta RFID	Targeta NFC
Arquitectura	Banda magnètica	Antena Xip Transductor ràdio	Antena Xip Transductor ràdio

Establiment de comunicació	0,5s	Menor a 0,1s	Menor a 0,1s
Cost ¹¹	Aprox. 0,2€	Aprox. 0,6€	Aprox. 1€
Velocitat d'escriptura/lectura	≈115 Kbps	424 Kbps	424 Kbps – 848 Kbps
Contacte	Sí	No	No
Abast	Contacte directe	45 cm a més de 10m	10 cm
Vida útil	Curta / Usos limitats	Llarga	Llarga
Manteniment	Alt	Baix	Baix
Fiabilitat	Menor	Major	Major
Seguretat	Menor	Major	Major

Taula 7.5. Comparativa de tecnologies referents al bitllet. *Font:* elaboració pròpia

7.2.3. Tecnologia de la targeta o bitllet: proposta

La tecnologia RFID ha estat una eina generalitzada en el sistema de *ticketing* en l'àmbit del transport públic, una de les seves principals aplicacions, per ciutats com Londres, Hèlsinki, Xangai, Istanbul, Moscou o Porto entre d'altres. [13]

A la RMB, el sistema convencional de transport públic es basa en bitllets de paper amb banda magnètica. Aquest sistema no és el que s'utilitza en les ciutats punteres pel que fa a sistemes de *ticketing*. D'aquesta manera cal proposar un nou sistema de bitllets de transport que seguirà utilitzant les targetes com a eina de validació i identificació però aportant millores considerables pel que fa la seva tecnologia.

S'escull una targeta intel·ligent sense contacte RFID, en concret amb tecnologia Mifare. Aquesta tecnologia presenta una gran implantació a nivell mundial i, per tant, la seva qualitat

¹¹ El preu pot variar segons el proveïdor. Els valors de la taula s'han calculat a partir d'una mitjana realitzada a partir de diferents preus obtinguts de diferents proveïdors.



i fiabilitat està demostrada. Lidera, doncs, el mercat del transport públic per ser una tecnologia ràpida, econòmica i per la seva gran operativitat, portabilitat, durabilitat i fiabilitat. La gran velocitat de les etiquetes i detectors RFID fa que el sistema de validació en els autobusos sigui simple, intuïtiu i eficaç. Aquesta targeta electrònica basada en un sistema RFID ha de permetre l'accés a qualsevol servei d'autobús de la RMB.

Mifare és una tecnologia de targetes intel·ligents sense contacte –TISC- de les més àmpliament instal·lades arreu del món. És propietat de NXP Semiconductors, marca registrada reconeguda per Philips. Es tracta d'una targeta de PVC amb tecnologia RFID similar en mida als estàndards físics de targetes de crèdit i que porta un xip incorporat. Aquest, pot ser una memòria interna o bé pot contenir un microprocessador. Així mateix, aquest xip disposa de contactes exteriors que són els que permetran interactuar amb el lector a través de radiofreqüència. Amb això, es podrà accedir a la informació que conté el xip o bé gravar dades. Gràcies, doncs, a aquest microxip es poden emmagatzemar, modificar i processar les dades que conté i, fins i tot, encriptar-la per a evitar la lectura de dades confidencials per part de persones no autoritzades.

No és necessari el contacte físic per a llegir o codificar la targeta: a una distància de centímetres es produeix la connexió necessària per a la transferència de dades.

Molts operadors estan apostant i adoptant la tecnologia Mifare com a plataforma d'interfície sense contacte en l'àmbit del transport públic. Les seves avantatges es troben en que no requereix la impressió de les dades de validació, a hora punta evita congestions i permet gravar qualsevol tipus d'informació sobre les accions de l'usuari sense contacte. Les targetes Mifare aplicables en aquest àmbit són –s'especifiquen en l'Annex G:

- Mifare Classic ®
- Mifare Plus ®
- Mifare Ultralight ®
- Mifare Ultralight ®
- Mifare DESFire ®
- Mifare DESFire EV1 ®
- Mifare DESFire EV2 ®
- Mifare PLUS ®
- Mifare SAM AV2 ®

Si es comparen els usos de cadascuna de les targetes i s'analitza l'aplicació a nivell mundial en el sector del transport públic, es confirma que la targeta Mifare DESFire EV1 permet arribar als objectius del projecte –veure Annex G on s'incorpora una comparativa dels usos dels diferents models en l'àmbit del transport públic. Es mostren les seves característiques principals a la Taula 7.6 –veure Annex H on es detalla les característiques tècniques completes.

Model	Dimensions	Capacitat	Material	Freqüència	Temps de transacció
DESFire EV1	5,4 x 8,57 x 0,076 cm	EEPROM 4 KB (32,768 bits)	PVC	13,56 MHz	<100 ms

Taula 7.6. Característiques de la targeta Mifare DESFire EV1®. Font: NXP Semiconductors

7.2.3.1. Característiques físiques, estructura i procés de fabricació

Les característiques físiques de la targeta Mifare DESFire EV1® es defineixen en la normativa ISO/IEC 7810 –veure Annex J. Les targetes de transport es delimiten en el format ID-1 que es caracteritzen per presentar unes dimensions de 85,60 x 53,98 mm x 0,76 mm i cantonades arrodonides amb un radi d'entre 2,88 i 3,48 mm. Veure Figura 7.5.

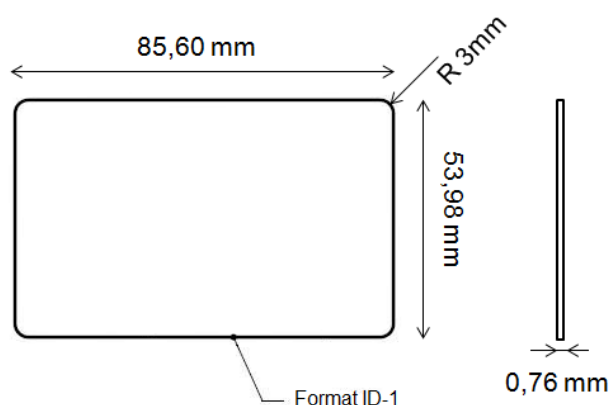


Figura 7.5. Dimensions de la targeta Mifare DESFire EV1. Font: ISO 7810

L'estructura de la targeta és la que presenta una targeta RFID: consta d'una antena i un xip que permeten la comunicació amb el lector. Aquests es troben dins el gruix de 0,76 mm. Aquesta targeta podrà imprimir-se per les dues cares. El procés de fabricació és el que es mostra en la Figura 7.6.

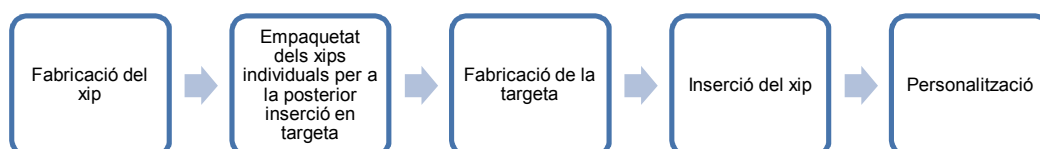


Figura 7.6. Procés de fabricació de la targeta Mifare DESFire EV1. Font: NXP Semiconductors



7.2.3.2. Material

En la seva majoria, les targetes Mifare que es comercialitzen són de PVC. És un material flexible, poc pesat, durador i relativament barat.

Pel que fa a l'aspecte mediambiental i de reciclatge, el PVC presenta un procés de reciclatge més complex que les anteriors targetes de paper amb banda magnètica. Tot i així, es tracta d'una targeta amb una vida útil llarga ja que el seu deteriorament és baix. Així mateix, quan se'n finalitzi l'ús per part de l'usuari poden ser retornades a l'operadora per a ser reutilitzades o reparades. Aquest material, doncs, permet gran quantitat de funcions i substitueix els títols de paper introduint clares millores al servei.

7.2.3.3. Interfície i arquitectura

Tot i que la targeta de paper amb banda magnètica presenta un cost menor no assoleix els objectius del projecte ni s'adapta a l'avanç tecnològic actual que permet l'anàlisi de gran quantitat de dades a temps real. La seva baixa capacitat d'emmagatzematge i la seva baixa preparació per a generar i transmetre dades la porten a una situació de desús.

La superfície laminada de PVC cobreix un xip i una antena que permetran l'operació de validació i la generació i processament de les dades. Veure Figura 7.7.

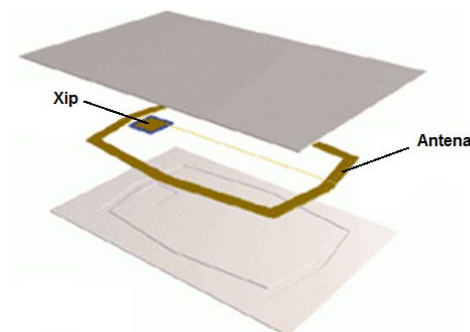


Figura 7.7. Estructura de la targeta RFID Mifare DESFire EV1® proposada. *Font:* Aidet ®

7.2.3.4. Font d'alimentació

Es tracta d'una targeta amb tecnologia RFID HF passiva. Això implica que l'energia necessària prové pel lector de targeta –en aquest cas de la validadora- i per tant, són targetes sense contacte que no contenen bateria.

7.2.3.5. Capacitat del xip i memòria

S'escull una targeta amb microprocessador –processador implementat dins el xip- ja que es pretén que aquesta tingui la capacitat de llegir, emmagatzemar i processar dades. Aquestes targetes tenen una estructura anàloga a la d'un ordinador comú –es detalla a la Taula 7.7.

Components del xip	
CPU	Processador.
ROM	Memòria interna on es troba el sistema operatiu de la targeta, les rutines de protocol de comunicacions i els algorismes de seguretat d'alt nivell pel software.
EEPROM	Memòria d'emmagatzematge. Equival al disc dur on es troba gravat el sistema de fitxers, les dades utilitzades per les aplicacions, claus de seguretat i les pròpies aplicacions que s'executen en la targeta.
RAM	Memòria volàtil de treball del processador.

Taula 7.7. Estructura del xip contingut en una targeta amb microprocessador. *Font:* elaboració pròpia

Pel que fa al model Mifare DESFire EV1 ® existeixen tres possibilitats pel que fa a la memòria d'emmagatzematge: 1 KB, 4 KB i 8 KB. S'escull el model de 4 KB ja que si s'analitza la fitxa tècnica facilitada per NXP, una de les principals aplicacions d'aquesta targeta és el sector del transport públic.

7.2.3.6. Estructura de la memòria

L'EEPROM consta de 4 KB organitzats en 32 sectors de 4 blocs i 8 sectors de 16 blocs –un sector consisteix en 16 bytes. Els diferents sectors utilitzen dos claus d'accés anomenades *A* i *B* que s'emmagatzemen en un bloc juntament amb els permisos d'accés a cadascun dels altres blocs. La informació és de format lliure i es pot modificar amb comandes simples de lectura i escriptura. Això permet generar dades, guardar informació en la targeta, carregar el dipòsit de la targeta, etc.

El temps de detenció de dades és de 10 anys –per tant, la vida útil de la targeta.

7.2.3.7. Funcionament

En primer lloc, l'operativa s'inicia aproximant la targeta al lector –en aquest cas una



validadora- a una distància màxima de 10 cm. A diferència de la targeta intel·ligent de contacte, les dades intercanviades entre targeta i lector són possibles a distància. Això augmenta l'eficàcia del sistema de transmissió de dades en el moment d'efectuar la lectura disminuint així el temps de validació i el desgast de la targeta a causa del contacte amb la validadora. D'aquesta manera, la targeta s'alimenta de l'energia transmesa pel lector a través d'ones ràdio de la freqüència requerida i s'activa. A continuació s'inicia un protocol de comunicació bidireccional amb el lector per a validar, generar i processar les dades. S'estableix un canal xifrat on la targeta envia un codi d'identificació que, en primer lloc, habilitarà l'accés al passatger i descomptarà el import del viatge. En aquest moment la tecnologia d'aquest dispositiu permet la generació de dades quan es troba en contacte amb el lector.

7.2.3.8. Seguretat

La seguretat és un aspecte clau a tenir en compte pel que fa a les targetes intel·ligents. Per a que aquestes presentin alta seguretat –són generadores i portadores de gran quantitat de dades- disposen de diferents mecanismes aplicats en múltiples nivells.

El contingut que contenen les targetes està xifrat i pot ser únicament modificat per l'operador, que és qui posseeix la clau per a fer-ho. És durant el procés de fabricació de la targeta que es determinen quins mecanismes de seguretat caldrà aplicar als fitxers i aplicacions que conté la targeta.

D'aquesta manera, es busca garantir la confidencialitat, integritat i privacitat de la informació emmagatzemada o transmesa. Això es demostra:

- **Targeta personal i intransferible.** Cada targeta és personal i està associada al seu titular. Això porta que en cas de pèrdua sigui més fàcil l'anul·lació.
- **Autenticació i xifratge de la informació.** Els seus mecanismes d'autenticació i xifratge s'utilitzen per assegurar que la informació únicament pugui ser entesa per l'administració i evitar lectures no desitjades. L'autenticació s'utilitza per a que únicament sigui el personal autoritzat qui pugui accedir a la informació, amb la possibilitat d'escriure-la i llegir-la. Així mateix s'implementa un sistema de contrasenya amb la qual es pot tenir un control major de la privacitat. El xifrat de la informació afegeix una capa de seguretat robusta la qual bloqueja qualsevol intent d'intrusió en el sistema. Aquesta seguretat afegida és possible incorporar-la a la targeta amb un cost de fabricació baix, limitada als recursos de hardware de les etiquetes. Aquest tipus de capes de seguretat realitzen funcions de criptografia utilitzant claus per al procés de xifrat de la informació.

- **Comunicació segura.** Comunicació segura entre lector i targeta utilitzant diferents mecanismes per evitar lectures no desitjades.
- **Duplicació.** Al tractar-se de targetes amb informació xifrada la dificultat per a la duplicació i/o falsificació és major. Així, és capaç de detectar intents de manipulació i ajudar a contrarestar possibles atacs.

7.2.3.9. Resum: Taula de característiques tècniques

Es presenten les característiques tècniques del model Mifare DESFire EV1 4K a la Taula 7.8. La taula de característiques tècniques original es mostra a l'Annex H.

Paràmetre	MIFARE DESFire EV1 4k
Memòria	
EEPROM (byte)	4096
Resistència d'escriptura (cicles) ¹²	500.000
Retenció de dades (anys)	10
Organització	Sistema d'arxius flexible
Interfície RF	
ISO 14443 A	Si –fins l'apartat 4
Freqüència (MHz)	13,56
Velocitat de transmissió (Kbit/s)	106 - 848
Anticol·lisió ¹³	Bit a bit
Distància d'operació	Fins a 100
Seguretat	
Nombre de sèrie únic (byte)	7
Generació de nombres aleatoris	Si

¹² La resistència d'escriptura és el nombre de escriptura o programació/esborrat -cicles P/E- que es poden aplicar a un bloc de memòria flash abans que els mitjans d'emmagatzematge es converteixin en poc fiables.

¹³ L'anticol·lisió és el tipus d'algorisme utilitzat en la targeta per a establir comunicació entre targeta i lector amb únicament una de les targetes de l'entorn.



Claus d'accés	14 claus d'accés per aplicació
Condicions d'accés	Per arxiu
Seguretat DES&DES3 ¹⁴	Si
Seguretat AES ¹⁵	Si
Seguretat amb xip	Si
Característiques especials	
Multi aplicació	28 aplicacions
Temps de transacció (ms)	89
Alimentació	Sense bateria

Taula 7.8. Característiques tècniques Mifare DESFire EV1 4K. *Font:* NXP Semiconductors

7.2.4. Tecnologia de la validadora: possibilitats

El lector per a la targeta escollida es tradueix en la validadora de targetes. En aquest cas, l'estudi es centra en el transport d'autobusos de la RMB. D'aquesta manera, es tracta d'un equip embarcat de *ticketing* que ha de satisfer les necessitats de les diferents operadores de la regió.

La funció principal del pupitre és la recàrrega i validació de títols de transport, així com la configuració i recopilació de dades per a la posterior transmissió per mitjà de comunicacions sense fils –GPRS o WLAN- a un centre de control i gestió de billetatge. Es compara la robustesa de diferents sistemes de connexió en l'Annex F.

Així mateix, una altra de les seves funcions és el control dels panells informatius d'autobús per a indicar el nombre de línia, origen i destí o parada actual, així com l'adquisició d'altres dades tècniques disponibles a bord de la unitat mòbil.

D'aquesta manera, és una eina essencial per a complementar el vector de dades que es pretén fer arribar al sistema central de control de dades. El conductor, persona responsable de la unitat mòbil, introduirà les dades que no es generen automàticament en el moment de la validació, com ara la seva identificació o la del vehicle.

Les validadores incorporen un potent processador que realitza les operacions de recàrrega i

¹⁴ Algoritme DES&DES3: algoritme de xifratge simètric que encadena tres aplicacions successives de l'algoritme DES sobre el mateix bloc de dades de 64 bits, amb 2 o 3 claus diferents

¹⁵ Advanced Encryption Security: esquema de xifratge per blocs adoptat com un estàndard de xifratge pel govern dels Estats Units.

validacions en un temps mínim, gestiona les llistes de targetes conflictives de forma eficient i completa la gestió dels protocols de seguretat amb un alt rendiment.

Actualment, el sistema de *ticketing* –s'inclouen els sistemes de venda de títols de transport i control d'accessos- de la RMB és proporcionat per Indra Sistemas S.A. Es tracta d'una empresa amb llarga trajectòria en el sector i amb clients internacionals: Argentina, Bèlgica, Xile, Xina, Egipte, Espanya, Índia, entre d'altres¹⁶. Pel que fa a validadores compatibles amb la tecnologia RFID de les targetes presenta dins el seu rang de productes el pupitre embarcat. [11]

En segon lloc, es presenten les opcions que ofereix GMV Innovating Solutions. GMV dissenya, desenvolupa, fabrica i comercialitza sistemes d'expedició, control i validació de títols de transport. Dins el seu ventall de productes, comercialitzen la validadora embarcada CTC-910.

En la cerca del model adequat per al sistema de *ticketing*, s'observa que els diferents models de màquines validadores presenten un grau d'estandardització alt que porta a la fabricació de productes similars per part de diferents proveïdors. Veure Taula 7.9.

- a) **Pupitre embarcat Indra Sistemas S.A.** Arquitectura software modular, facilitant l'actualització de les dades i de la pròpia aplicació a temps real, possibilitant la incorporació de noves funcions, l'actualització de tarifes o la implantació de nous títols i polítiques tarifàries. Així mateix, la consola presenta una funcionalitat addicional: incorporació opcional d'un mòdul GPS que incrementa la funcionalitat de l'aplicació del billetatge, proporciona les capacitats pròpies dels sistemes de posicionament i localització de vehicles així com les funcionalitats bàsiques d'un sistema d'Ajuda a la Explotació (SAE).
- b) **Validadora CTC-910 de GMV Innovating Solutions.** Inclou pantalla tàctil i opera amb el sistema operatiu Linux. Posseeixen així mateix dues memòries SDRAM i FLASH de 32 MB ampliables fins als 64. És accessible en mode remot, tant per 3G o

¹⁶ Clients principals Indra Sistemas S.A: Argentina (Trenes de Buenos Aires TBA), Bèlgica (STIB – Metro de Brussel·les), Xile (Empresa de Ferrocarrils de l'Estat EFE, Metro de Santiago, Metro Regional de Valparaíso MERVAL), Xina (Binhai Mass Transit, Metro de Shanghai), República Txeca (Metro de Praga), Egipte (Metro del Caire), Grècia (Atikko Metro), Índia (Mumbai Metro One, Mumbai Monorail, Delhi Airport Metro Express), Mèxic (Suburbano de México), Portugal (Atlantic Ferries, Metropolitano de Lisboa), Espanya (ADIF, Tranvia de Alicante, ATM Barcelona, Tranvia de Barcelona, Tranvia de Bilbao, Consorcio de Transportes de Bizkaia CTB, Consorcio de Transportes de Sevilla, Consorcio de Transportes de Málaga, Consorcio de Transportes Almería CTA, Consorcio de Transportes de Madrid, Empresa Malagueña de Transportes (EMTSAM), Fuenlabrada EMT, EMT Madrid, Entitat de Transport Metropolità de Valencia, EuskoTren, Ferrocarrils de la Vía Estrecha FEVE, Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya (FGC), Ferrocarrils de la Generalitat Valenciana (FGV), Metro Barcelona, Metro Bilbao, Metro Liger de Madrid, Metro Madrid, Metro Valencia, Mintra, Tranvia de Parla, RENFE, Transportes Metropolitans de Barcelona (TMB), Transportes Urbanos de Sevilla (TUSSAM), Tranvia de Valencia), Estats Units (Capital Metropolitan Transport Authority, Metro St. Louis), Veneçuela (Alcaldía de Caracas, Metro de Maracaibo).



GPRS. Presenta incorporació addicional de GPS per a confirmar la posició a temps real del vehicle.

		Descripció
Indra Sistemas SA		<ul style="list-style-type: none"> - Embarcada - Lectura de targetes sense contacte - Teclat per a la incorporació de dades del vehicle, conductor, etc. - Pantalla - Connexió GPRS - Associada al panell informatiu del vehicle. - Permet operar en mode autònom o bé connectada a sistemes d'emissió de bitllets. - Possibilitat d'incorporació de dispositiu GPS
GMV Innovating Solutions		<ul style="list-style-type: none"> - Embarcada - Lectura de targetes sense contacte - Interacció visual mitjançant pantalla tàtil. - Instruccions amb so - Connexió GPRS o 3G - Permet operar en mode autònom o bé connectada a sistemes d'emissió de bitllets - Possibilitat d'incorporació de dispositiu GPS

Taula 7.9. Comparativa dels possibles models de màquines validadores. *Font:* elaboració pròpia.

7.2.5. Tecnologia de la validadora: proposta

Les característiques dels dos mòduls presentats són pràcticament idèntiques. La principal diferència és la seva interfície. Tenint en compte el vector de dades que cal generar, que inclou la identificació del vehicle, la identificació del conductor, destí i origen, la identificació de la línia, etc., es considera que la que més s'ajusta a les necessitats del projecte és la opció d'Indra Sistemas S.A. Aquest dispositiu inclou un teclat per a introduir –per part del conductor- aquests valors del vector que són fixos i adherir-los a aquells valors generats durant la validació.

Inclou, així mateix, la possibilitat d'incorporar un GPS per a confirmar la regularitat de pas per parada dels autobusos i conèixer la seva localització a temps real, la qual cosa és un dels objectius del present projecte.

7.2.6. Tecnologia per a la geolocalització a temps real: possibilitats

Per a la gestió de les flotes d'autobusos el projecte contempla la necessitat de localitzar mitjançant coordenades els vehicles a temps real amb la finalitat d'optimitzar els serveis. La geolocalització és compatible amb el sistema de *ticketing* que es pretén instal·lar en els autobusos de la RMB. Es contempla aquesta opció per abastir els següents objectius:

- Posicionament en temps real dels vehicles
- Informació a l'operadora i als usuaris
- Comprovació del compliment de rutes i parades
- Informació del temps d'arribada a una parada
- Informació del temps de sortida d'una parada
- Seguretat de vehicle i passatgers

Es contemplen dues opcions per a la localització via GPS a temps real:

- a) **Geolocalització continua mitjançant GPS.** S'incorpora un localitzador GPS al vehicle per tal de controlar a temps real la seva posició en coordenades. Cada vegada que varia la posició, aquesta és enviada i transmesa a la central de control via connexió GPRS. Aquest localitzador pot incorporar-se al vehicle –veure Figura 7.8- o bé ser un mòdul addicional de la màquina validadora.



Figura 7.8. Localitzador GPS comú. *Font:* www.localizadorgps.com

El sistema GPS¹⁷ està compost per tres elements: satèl·lits artificials, bases de seguiment i aparells receptors. S'esquematitza a la Figura 7.9.

¹⁷ El GPS utilitza una xarxa de 24 satèl·lits que emeten informació mentre orbiten a 200.000 km de forma que, en qualsevol punt de la Terra, almenys 4 es troben sobre l'horitzó. Rebre la senyal de 4 satèl·lits és suficient per a que un receptor determini la posició en relació a ells.



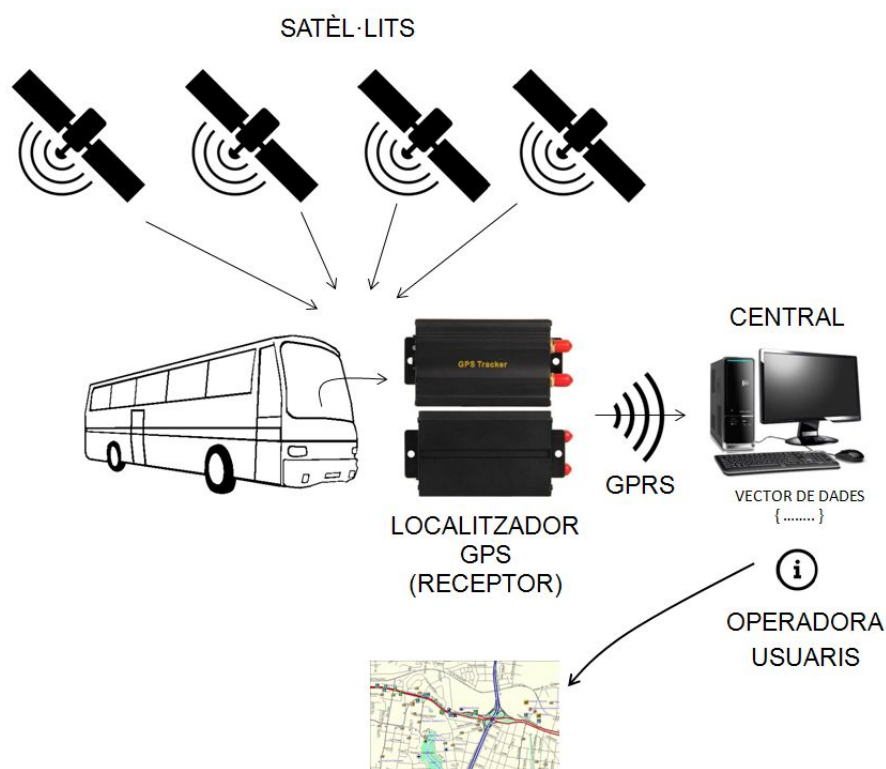


Figura 7.9. Esquematització del sistema de seguiment per GPS d'autobusos. *Font:* elaboració pròpia

- b) **Localització puntual a l'arribada i sortida d'una parada.** Aquest mode de localització es basa en la instal·lació de dues etiquetes RFID al vehicle. Una d'elles es situaria a la part frontal de l'autobús mentre l'altra caldria posicionar-la a la part posterior. El sistema es complementa instal·lant un lector RFID a les estacions o parades d'autobús. D'aquesta manera, quan l'autobús arriba a l'estació, s'estableix contacte entre l'etiqueta frontal i el lector situat a l'estació: així queda registrada l'hora d'arribada en relació a la parada on acaba d'arribar l'autobús. Quan l'autobús continua la ruta, l'etiqueta posterior passa pel lector i s'enregistra l'hora de partida vinculada amb la parada. Així queda enregistrada l'hora d'arribada i partida de cada autobús a cada estació. Veure Figura 7.10.

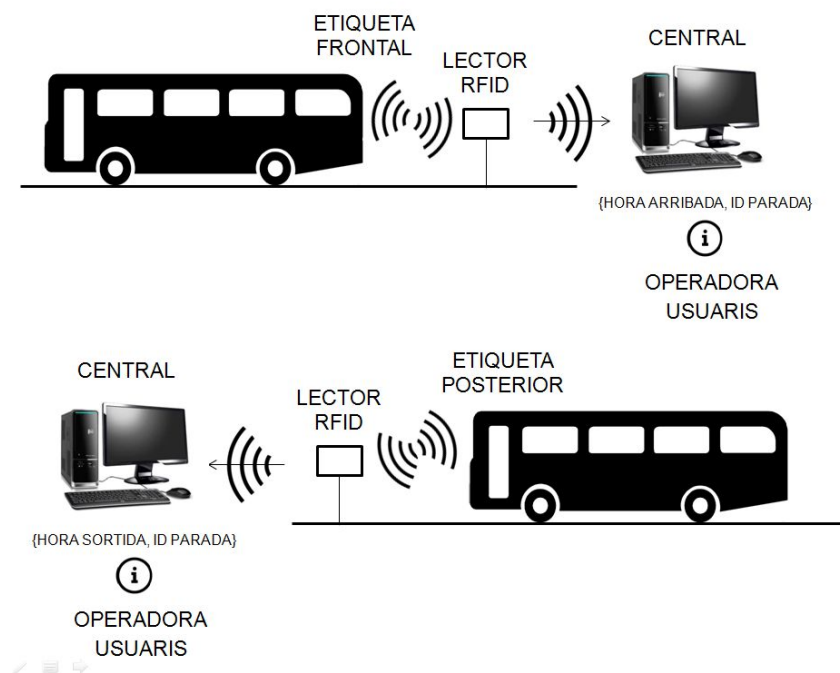


Figura 7.10. Esquematzació del sistema d'etiquetes frontal i posterior. *Font:* elaboració pròpia

7.2.7. Tecnologia per a la geolocalització a temps real: proposta

L'opció més econòmica d'entre les possibilitats plantejades és la geolocalització mitjançant un localitzador GPS instal·lat a cadascun dels vehicles de la flota. Es tracta d'una opció econòmica i de més fàcil implantació.

7.2.8. Tecnologia per al comptatge de viatgers: possibilitats

Per a controlar la circulació de persones en els autobusos, cal tenir en compte dos aspectes: en primer lloc, la quantitat de persones que pugen i baixen del vehicle i, en segon lloc, la ubicació exacta de la parada. El segon aspecte queda cobert amb la instal·lació d'un dispositiu GPS als vehicles.

En un principi, en el mateix procés de validació es realitza el comptatge d'usuaris que entren en l'autobús. D'aquesta manera, el fet de validar el títol de transport porta a que es conegui a temps real el nombre de persones que han entrat dins el vehicle. Tot i així, es desconeix el nombre real de persones que hi ha: el passatger només valida a l'entrar al vehicle però no al sortir d'aquest per motius de comoditat de l'usuari -es desestima l'opció que el passatger validi el títol de transport a l'entrada i a la sortida del vehicle per qüestions de facilitat i comoditat.. Per aquest motiu, cal dissenyar un sistema extern per al comptatge real d'usuaris que es troben dins el vehicle.

Els principals objectius de desenvolupar un sistema de comptatge de passatgers són:

- Monitoritzar les tendències d'ús dels usuaris.
- Reubicar els recursos per a satisfer la demanda actual.



- Indicar on és necessari afegir o eliminar serveis i si és necessari mantenir una flota de reserva.
- Obtenir una mesura diària d'usuaris.

A continuació s'analitzen diferents opcions per al comptatge del nombre real d'usuaris que es troben en el vehicle.

- a) **Instal·lació de sensors direccionals a les portes d'entrada i sortida.** El computador a bord analitza i emmagatzema els senyals dels sensors en la seva memòria. Els sensors també poden ser connectats a computadors que ja existeixin dins el vehicle. Aquest tipus de sensor està dissenyat per al comptatge de persones en vehicles de transport públic, com per exemple, autobusos. Detecta el pas de persones i en determina la direcció –entrada o sortida. Així mateix, no es veu afectat per la velocitat del vehicle ni pels passatgers immòbils. Es col·loca, generalment, en la part superior de les portes del vehicle. Per a entrades de més amplitud a la convencional, existeix una configuració de múltiples sensors. Veure Figura 7.11.



Figura 7.11. Sensor direccional. *Font: Infodev®*

Es descriuen les característiques tècniques del sensor direccional a la Taula 7.10.

Sensor direccional de passatgers	
Proveïdor	Infodev®
Model	DA-20
Impuls	Microprocessador a bord DL-10B o equip existent a bord
Afectació per llum o temperatura	No
Alçada màxima	2,6 m

Cobertura màxima	76,2 cm / 1,22 m
Potència	9 -20 VDC
Consum mitjà	13 mA
Caixa	Alumini
Pes	150 g
Mida	9,2x3,8x3,1 cm
Cost	≈20€

Taula 7.10. Característiques tècniques del sensor direccional DA-20. *Font:* Infodev ®

- b) **Instal·lació de sensors de pressió als seients de l'autobús.** El sistema consisteix en dos parts bàsiques: per una banda, els sensors de pressió instal·lats en cadascun dels seients del vehicle i d'altra banda la computadora que rep els senyals i la informació de cadascun dels sensors. L'objectiu del sensor és detectar l'ocupant del seient i transmetre un senyal al computador a bord per actualitzar el nombre de passatgers. Detecten aquelles persones que pesen més de 15 kg. Veure Figura 7.11.

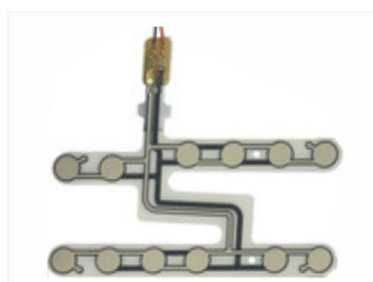


Figura 7.12. Sensor de pressió. *Font:* Hale Electronic ®

Amb aquesta tecnologia, és possible esquematitzar de forma visual quins són els seients disponibles i quins estan ocupats per algun usuari. Es descriuen les característiques tècniques del sensor direccional a la Taula 7.11.



Sensor de pressió	
Proveïdor	Hale Electronic®
Model	SIT-SBR
Connectat a	Ordinador a bord
Pes mínim	15 kg
Adaptables a diferents seients	Si
Cal·libració durant vida útil	No
Forma	En H per a garantir la detecció sense fallades de l'ocupant
Cost	≈30€

Taula 7.11. Característiques tècniques del sensor de pressió SIT-SBR. *Font: Hale Electronic ®*

7.2.9. Tecnologia per al comptatge de viatgers: proposta

El present projecte busca conèixer a temps real el nombre exacte de persones que es troben dins l'autobús. Dels dos sistemes anteriors, s'escull la primera opció plantejada. En el primer cas, el nombre de sensors total necessaris per a cada vehicle és de dos. En canvi, en el segon cas, el nombre de sensors depèn del nombre de seients dels autobusos, aproximadament 35 en la majoria d'autobusos d'un sol pis. Això implicaria la instal·lació d'un nombre de sensors elevat per a cada autobús, implicant costos notables d'implantació. D'aquesta manera, la facilitat d'instal·lació i els baixos costos prioritzen la primera opció. Veure Figura 7.13.

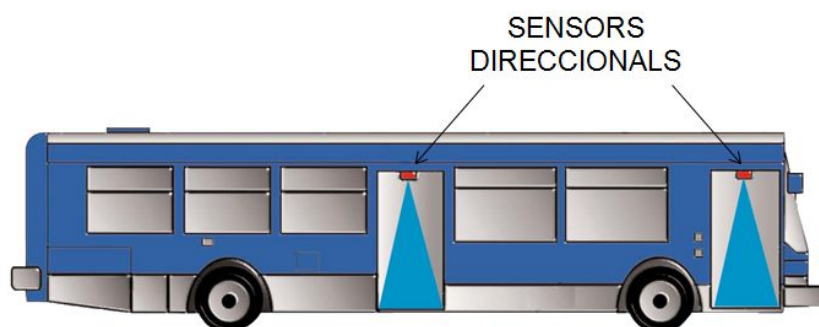


Figura 7.13. Situació dels sensors direccionals en un autobús. *Font: elaboració pròpia*

El sistema proposat consta de sensors direccionals, concentradors i computadora central del vehicle. Es descriuen a continuació:

- Sensors direccionals: S'instal·len a les portes del vehicle i es comuniquen amb microcomputadors especialitzats, els concentradors, que analitzen els senyals i emmagatzemen els resultats a la seva memòria. Aquests sensors són capaços de detectar el pas de les persones, comptar-les i determinar la direcció del seu moviment. Els resultats són, doncs, precisos i fiables.
- Concentradors: El concentrador és un equip robust que rep la informació dels sensors i requereix poca alimentació elèctrica. Compta amb suficient memòria per a emmagatzemar dades de varis mesos.
- Les dades emmagatzemades són enviades a la computadora del vehicle i posteriorment al centre de control per al seu anàlisi i presentació. La connexió entre concentrador i computadora pot ser mitjançant cablejat, sense fils o ones ràdio.

D'aquesta manera, els sensors direccionals són instal·lats en les portes d'entrada i sortida. Els concentradors reben senyals dels sensors i emmagatzemen la informació a la seva memòria. Els dispositius de transferència de dades prenen la informació del concentrador i la transmeten a la computadora del vehicle. Aquesta informació passarà al centre de control com a informació útil.

7.2.10. Altres

El vehicle ha de portar a bord una computadora per a la recepció de les dades provinents dels sensors direccionals i del localitzador GPS. En el cas de la validadora escollida, aquesta pot realitzar dita funció. Si aquesta pren la funció de computadora, aquest aspecte representa un cost addicional.

7.3. Arquitectura tecnològica del sistema

En el sistema proposat es distingeixen, doncs, tres subsistemes diferents. S'esquematitza la seva arquitectura en les Figures 7.14, 7.15 i 7.16.

- a) Sistema de validació. Format per la targeta *contactless* i la màquina validadora.
- b) Sistema de geolocalització GPS
- c) Sistema de sensors direccionals per al comptatge de passatgers





Figura 7.14. Esquematització del sistema de validació. *Font:* elaboració pròpia.

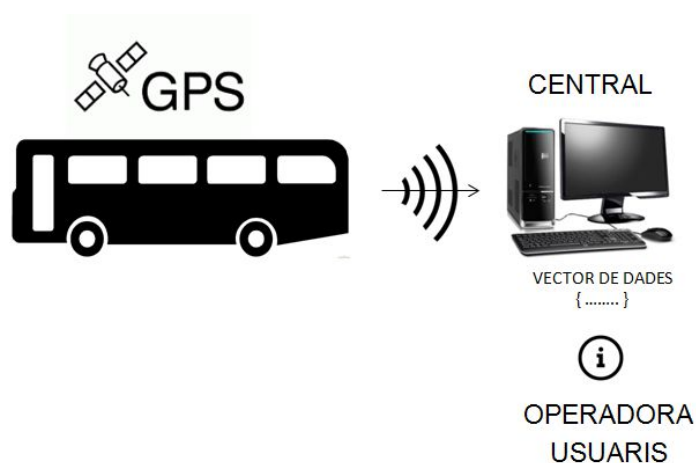


Figura 7.15. Esquematització del sistema de geolocalització. *Font:* elaboració pròpia.

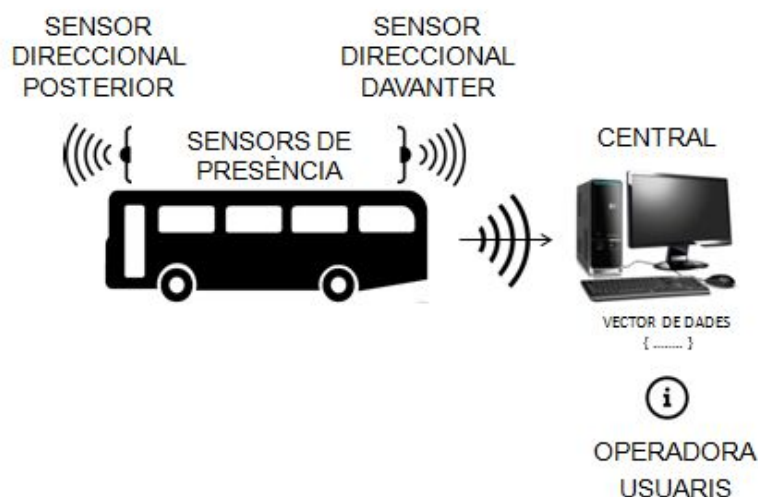


Figura 7.16. Esquematització del sistema de comptatge de passatgers. *Font:* elaboració pròpia.

7.4. Operativa del sistema

El principi d'operació defineix quina acció genera cadascuna de les dades. Tenint en compte el vector de dades a generar, cal determinar quines dades es produiran amb la validació, quines mitjançant els sensors direccionals o el localitzador GPS i quines hauran d'indicar-se a la computadora de forma manual –és a dir, serà el conductor qui les introduirà.

- Generades pel conductor: Vehicle, Ruta, Operador, Línia, Identificació del conductor.
- Generades pel sensor direccional: Número de passatger i Nombre de passatgers a bord.
- Generades pel localitzador GPS: Posició de validació, Parada d'autobús.
- Generades amb la validació: Dia de validació, Hora de validació.

A partir d'aquí, l'operativa és la següent –veure Figura 7.17. A l'inici d'una ruta el conductor introdueix les dades corresponents a la computadora mitjançant el teclat i la pantalla de selecció de la validadora. Aquestes dades seran les que es vincularan amb el viatge que es realitzi posteriorment. S'inicia la conducció en direcció a la primera parada. Considerant l'arribada de l'autobús a la parada, el passatger aproparà la targeta a la validadora i aquesta detectarà l'etiqueta RFID. El passatger haurà d'indicar el destí en cas que l'autobús presenti múltiples destinacions. Aquesta acció portarà a la creació de les dades corresponents. Després que tots els passatgers pugin a bord, l'autobús seguirà la ruta corresponent. Mentre s'han dut a terme aquestes accions, el localitzador GPS ha enviat dades contínuament al computador a bord i aquestes s'han enviat a la central de control. Quan



cada passatger ha validat la targeta, aquesta validació també s'ha vinculat amb la posició GPS corresponent.

Els sensors direccionals han dut a terme el comptatge vinculant un nombre a cada passatger.

D'aquesta manera, es genera a temps real un vector per a cada passatger que entra al vehicle, i aquest, és enviat, també a temps real, a la central de control on es gestionaran i es donarà utilitat a les dades rebudes.

Cal tenir en compte que l'usuari busca un servei còmode. D'aquesta manera, cal minimitzar el nombre d'accions que ha d'aportar al sistema. Per a garantir-ho cal especificar que el client únicament validarà la targeta a l'entrar al vehicle –mai al sortir.

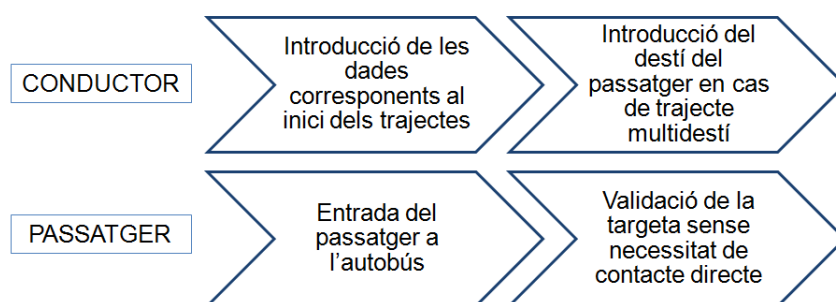


Figura 7.17. Operativa del sistema per part del conductor i del passatger. *Font:* elaboració pròpia

7.5. Gestió de les dades i visualització

Un cop s'ha generat el vector de dades –objectiu del model plantejat- cal determinar com s'exploten aquestes dades un cop arriben al centre de control. És a dir, quin és l'objectiu d'obtenir-les, com s'analitzen i quines conseqüències suposa treure'n conclusions o patrons –a qui fan servei i amb quina finalitat.

Es planteja una gestió de dades encaminada a aportar valor a dos dels components bàsics del sector del transport públic: en primer lloc, als usuaris, i en segon lloc, a l'ATM i en conseqüència a totes les empreses d'autobús operadores a la RMB.

En primer lloc, doncs, cal definir els objectius amb els quals es prenen les dades:

Objectius pel que fa a l'usuari

- Augmentar la capacitat d'informació a temps real.
 - Coneixement de la ubicació dels autobusos a temps real.
 - Coneixement de la capacitat del vehicle i el nombre de

passatgers dins el vehicle. Conèixer si encara hi ha seients disponibles o no.

- Coneixement de les diferents combinacions de ruta.
- Crear plataformes per a informar l'usuari –llocs web o aplicacions mòbil.
- Distribució correcta de la flota de vehicles -augmentar el nombre de vehicles en hores punta o punts crítics de ruta o bé dispersar el servei en hores de baixa densitat de passatgers.
- Detecció de conflictes en les línies –aquests poden tenir origen en el vehicle, el conductor, etc.

Objectius pel que fa l'empresa

- Gestió de la flota d'autobusos
- Detecció de patrons sobre el transport de viatgers en autobús.
- Dades per a la divisió de beneficis entre operadores de forma veraç i contrastada.
- Obtenir informació sobre l'afluència de passatgers en cada punt dels diferents recorreguts.
- Controlar les desviacions respecte l'horari previst: tenir coneixement sobre si es tracta de desviacions puntuals o bé desviacions sistemàtiques. Aquest objectiu busca detectar l'origen del conflicte de forma més fàcil.
- Controlar la saturació d'autobusos.
- Actuar a temps real en cas de conflicte. La transmissió de dades a temps real permet conèixer la situació del transport a cada instant.
- Conèixer dades generals sobre la demanda dels autobusos –discretitzant segons operadora, línia, trajecte, etc.
- Comparativa dels models de dades obtinguts, per exemple, segons el mateix dia de la setmana durant un mes¹⁸.
- Obtenir informació fiable i real sobre el servei realitzat per cada operadora i així distribuir els ingressos segons servei ofert.

Un cop coneguts els objectius específics cal determinar com s'analitzen i com es mostraran a l'usuari –aquest últim punt s'especifica, per mitjà d'exemples, en l'Apartat 7.6 *Aplicacions del model pels usuaris*. El centre de control centralitzarà tota la informació que subministrin els diferents operadors d'autobusos a la RMB. Aquesta, serà processada amb la finalitat d'informar els usuaris de transport públic en la seva decisió prèvia a la utilització del transport públic, durant el seu ús o posteriorment. Així mateix servirà per a detectar fallades o punts crítics que precisin una optimització de recursos. El centre de control realitzarà, doncs, la funció de supervisió i la gestió de les diferents flotes per a cada operador. [14]

¹⁸ Cal tenir en compte que actualment l'ATM publica semestralment un recull de dades de demanda i oferta del transport públic col·lectiu mitjançant TRANSMET Xifres, que és un instrument d'estadística oficial del Pla estadístic de Catalunya.



Els llocs de treball de supervisió i control consten de monitors i ordinadors que permeten l'accés a les dades generades i presenten un software específic que permet l'anàlisi d'aquestes dades per a cenyir-se als objectius proposats. D'aquesta manera, el sistema de supervisió adquirirà les dades que s'emmagatzemaran en el centre de control i posteriorment, analitzarà, supervisarà, detectarà i diagnosticarà fallades i reconfigurarà el sistema per a solucionar-les.

L'adquisició de dades, doncs, es refereix bàsicament a la connexió física dels sensors o la tecnologia de validació amb l'equip de control mitjançant l'adaptació electrònica pertinent.

Cal un anàlisi de la informació per al seu estudi amb la finalitat d'obtenir una millora continua tant del servei i explotació com de les instal·lacions i infraestructures. Amb això es persegueix millorar la qualitat del servei mitjançant informació a temps real que agilitza i coordina la presa de decisions. Veure Figura 7.18.



Figura 7.18. Esquema d'actuació del centre de control. *Font:* elaboració pròpia.

El centre de control es tracta, per tant, del node central del sistema on conflueixen totes les comunicacions amb la resta de sistemes dels diferents operadors d'autobusos de la RMB. En aquest punt arriben totes les dades que es pretenen obtenir a temps real per a cadascun dels vehicles i usuaris de la flota. Un cop obtingudes totes les dades són processades, tractades i associades a diferents variables, com per exemple, estació, parada, companyia operadora, conductor, línia, etc. La classificació de les dades facilita la detecció de fallades i l'obtenció de patrons d'usuaris. A partir d'aquí es genera un *Data Warehouse* o magatzem de dades, és a dir, una base de dades amb la informació històrica del sistema de transport d'autobusos. Per tant, no es tracta d'informació aïllada o independent sinó d'un conjunt d'informació entrelaçada que permet realitzar qualsevol tipus d'anàlisi –cada dada és única i s'associa a un instant de temps determinat la qual cosa permetrà realitzar anàlisis segons

mateixos moments temporals o horaris. D'aquesta manera, es creen eines de visualització de dades i es crea un historial de dades, per a comparar, per exemple, el temps que s'ha trigat a fer un recorregut en una mateixa franja horària els mateixos dies de la setmana de cada mes. El Centre de Gestió de Dades ha d'estar presentar diferents eines per a la gestió de la mobilitat, és a dir, tecnologia d'última generació dissenyada específicament per l'ATM amb l'objectiu de monitoritzar tota la xarxa d'autobusos de la RMB. Estarà compost per un supervisor gràfic que permetrà la geolocalització de vehicles a temps real i la representació d'incidències. S'exemplifiquen tres pantalles de visualització principal:

- Desviacions i fallades respecte el trajecte teòric previst de cada autobús sobre un mapa de la RMB. Això implica desviacions d'horari per retards o bé desviacions del trajecte a causa, per exemple, d'obres a la via pública o accidents. La Figura 7.19 mostra la ubicació dels autobusos a temps real mitjançant localització GPS distingits segons si són o no subjecte d'incidència. Visualment, s'observen els autobusos amb incidència sobre el punt geogràfic on es troben a temps real, marcats amb color vermell i acompanyats del símbol d'alerta. Es tracta d'un mapa interactiu que permet visualitzar els detalls de cada incidència si es selecciona el vehicle sobre el mapa. Així mateix, el software mostra una llista d'incidències que permeten conèixer-ne els detalls. Aquesta llista també permet la interacció per a situar el vehicle al mapa i conèixer-ne les coordenades geogràfiques exactes.

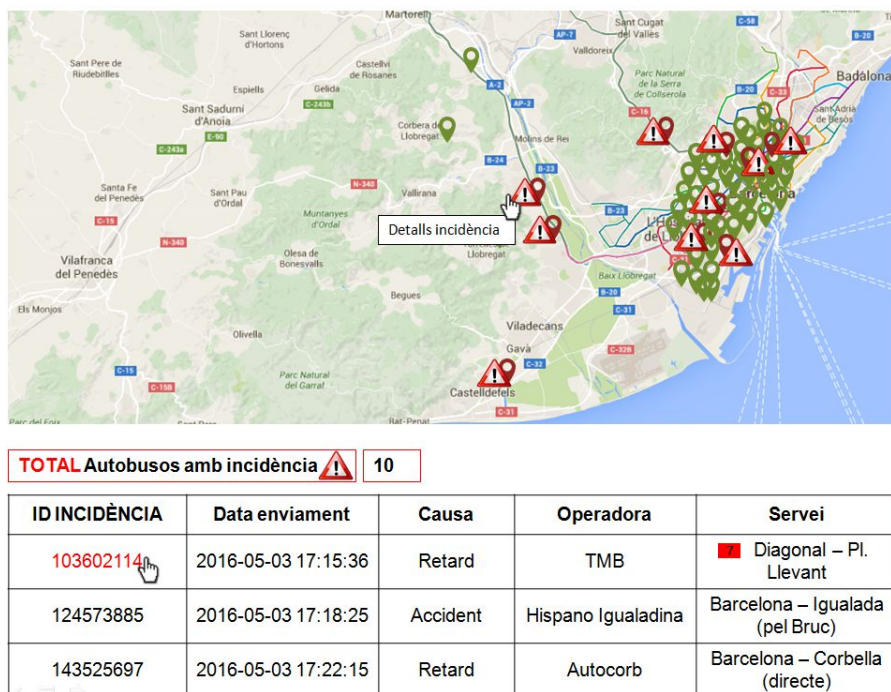


Figura 7.19. Interfície d'incidències per al centre de gestió de dades. *Font:* elaboració pròpia



- Localització de l'autobús segons cada parada. En aquest cas s'indica, sobre una línia recta que indica la situació de cada parada a proporció amb la realitat: el punt blau informa sobre la situació actual del vehicle i el punt verd la situació prevista. En cas que la distància entre el que passa a la realitat i el trajecte previst sigui major a un límit establert, es generarà una incidència. Això portarà com a conseqüència un avís destinat al Centre de Gestió de Dades amb l'objectiu d'arribar a una solució de forma ràpida. Això es realitzarà a temps real per a cada vehicle de la flota de la RMB en circulació. La interacció, en aquest cas, també es possible per a conèixer els detalls de les dades enviades i enregistrades. S'esquematitza la visualització en la Figura 7.20.

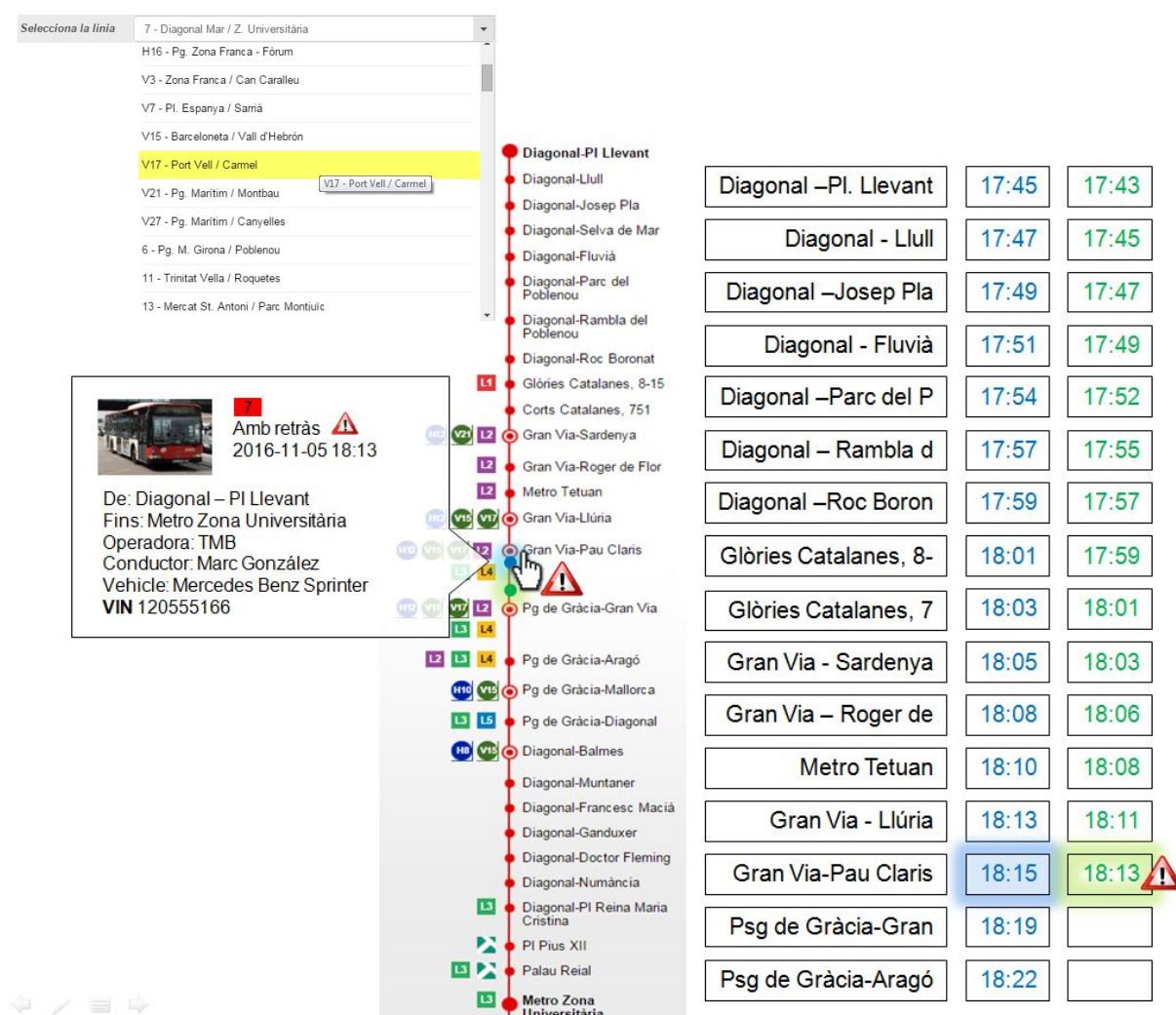


Figura 7.20. Interfície d'incidències per línia al centre de gestió de dades. *Font:* elaboració pròpia

- Representació del trajecte real sobre el trajecte teòric. La Figura 7.21 mostra una de les pantalles a visualitzar en el centre de control. Es tracta d'un gràfic –que permet ampliar i reduir la seva escala- que mostra l'horari d'autobús segons operadora i servei. En el cas de la figura, es mostra l'horari comprès de 17 a 24 per al servei Barcelona/Igualada de l'operadora Hispano Igualadina. Les arribades i sortides d'una estació es mostren en les línies horitzontals –Maria Cristina, Palau Reial, Abrera, etc- i es troben separades a proporció de la realitat. D'aquesta manera, el pendent de la recta permet identificar l'autobús més ràpid: els autobusos directes, sense parades entre els punts extrems, són més ràpids que els autobusos que realitzen parades durant el recorregut. Així mateix la intersecció de dos línies dóna com a resultat l'hora i la posició on es troben a la realitat. El software permetria la selecció de cadascun dels punts de les línies obtenint els detalls de cada trajecte –coordenades GPS, informació del vehicle, informació del conductor, nombre de viatgers, etc. Així mateix, es mostra en verd el recorregut teòric que hauria de realitzar el vehicle mentre que en vermell puntejat apareix el recorregut real traçat per l'autobús. D'aquesta manera, poden evidenciar-se incidències al detectar un retard i, posteriorment, estudiar-ne la possible causa a través de tota la informació registrada obtinguda. Les línies verticals indiquen l'hora –entre elles es distingeix la línia vertical vermella que representa l'hora actual i sobre d'aquesta, els autobusos en servei a temps real. [15]



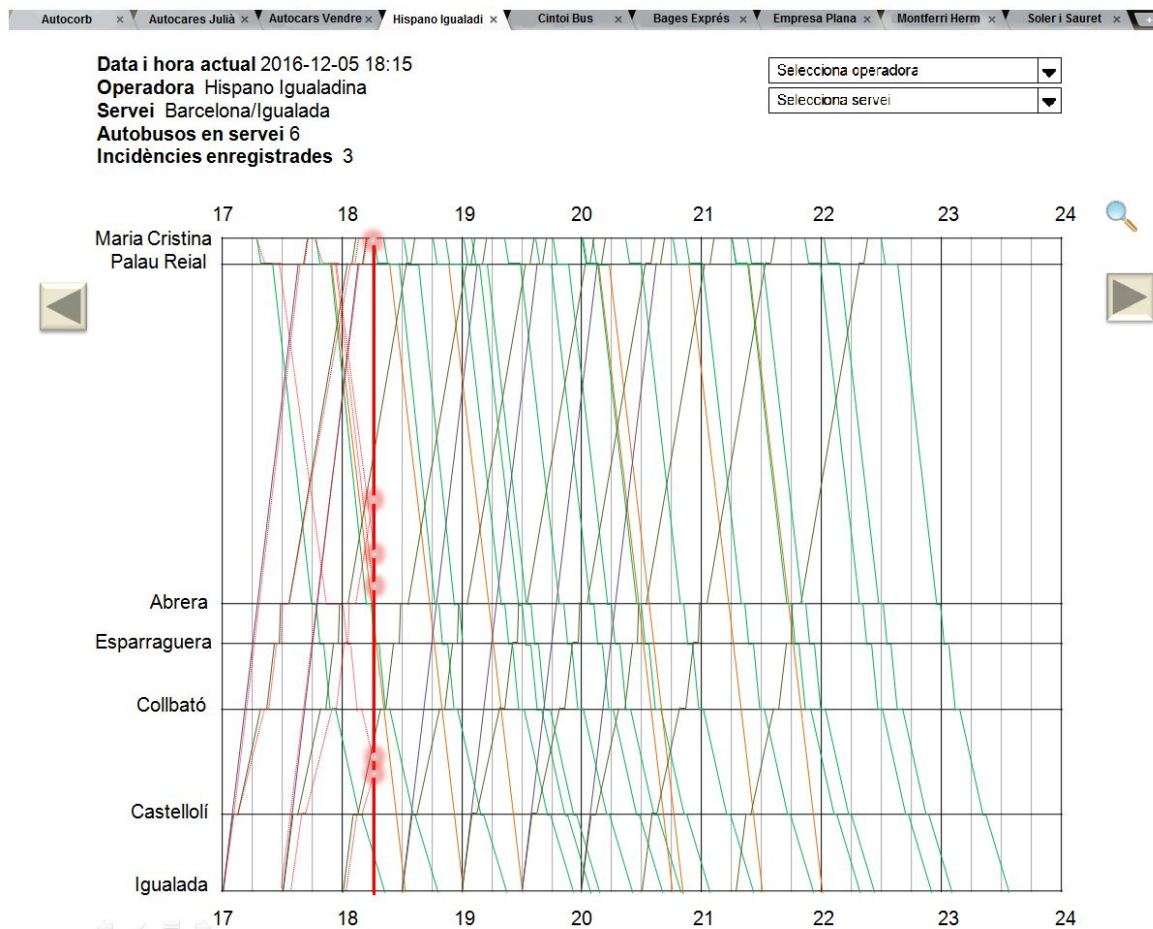


Figura 7.21. Interfície de trajecte real sobre trajecte teòric al centre de gestió de dades. *Font:* elaboració pròpia

7.6. Aplicacions del model pels usuaris

La informació obtinguda arriba a dos focus: a l'administració i als usuaris. En el primer dels casos, es tracta de la informació rebuda al centre de gestió de dades –veure Apartat 7.5 *Gestió de les dades i visualització*.

Pel que fa al segon focus, cal fomentar diferents estructures i interfícies per a que l'usuari conegui informació útil referent al trajecte a realitzar i això aporti una potencial millora al servei.

La informació dirigida a l'usuari pot arribar-hi mitjançant Internet, a través dels monitors electrònics situats a les parades d'autobusos o en l'interior del vehicle, mitjançant aplicacions de telefonia mòbil, etc.

Aquestes interfícies han de contenir un seguit d'opcions per a facilitar els trajectes de

l'usuari:

- Permetre el càlcul de la ruta òptima a partir de la ubicació actual de l'usuari. Es pretén que l'usuari pugui conèixer quin és el vehicle més proper a la seva ubicació.
- Visualització dels pròxims autobusos que passen per la parada que indica l'usuari a temps real. Es mostra el temps restant per a que els autobusos arribin a la parada i els detalls del trajecte i vehicle.
- Visualització del mapa de la ubicació actual amb els autobusos propers a temps real. D'aquests autobusos s'indica el conductor, la línia, si hi ha places disponibles.

Es plantegen dos tipus d'interfícies segons si es tracta d'autobusos urbans o autobusos interurbans. En el primer cas l'usuari pretindrà que l'aplicatiu li mostri quina de les rutes és l'òptima entre diferents opcions així com el coneixement de la ubicació dels autobusos per a cada ruta. En el segon cas, l'usuari coneix l'operadora i la línia i vol obtenir informació concreta de cada vehicle.

7.6.1. Autobusos urbans

A la Figura 7.21 es mostra la interfície plantejada per a informar l'usuari d'una operadora urbana amb dades a temps real –mitjançant una plataforma web o en forma d'aplicació. En aquest cas, es pretén que l'usuari introdueixi un seguit de dades:

- Ubicació actual. Situació mitjançant coordenades de la ubicació de l'usuari. En cas d'usar una plataforma web cal introduir-les manualment mentre que si es fa ús d'una aplicació es pot escollir l'opció "Ubicació actual" del dispositiu mòbil.
- Destí: Situació mitjançant coordenades de la ubicació destí de l'usuari.
- Hora en què pretén realitzar el trajecte o hora aproximada.

L'aplicatiu mostra les diferents opcions de trajecte juntament amb els detalls corresponents de cada vehicle i trajecte, per exemple, el nom del conductor, la fotografia de l'autobús o el temps de durada de cada trajecte. L'usuari pot situar els vehicles a temps real sobre el mapa de la ciutat i interactuar-hi per veure'n més detalls.





Figura 7.22. Exemple de la interfície per a autobusos urbans plantejada per a l'usuari. *Font:* elaboració pròpia

7.6.2. Autobusos interurbans

A la Figura 7.22 es mostra la interfície plantejada per a informar l'usuari d'una operadora interurbana amb dades a temps real –mitjançant una plataforma web o en forma d'aplicació. En aquest cas, es pretén que l'usuari introdueixi un seguit de dades:

- Ubicació actual. Situació mitjançant coordenades de la ubicació de l'usuari. En cas d'usar una plataforma web cal introduir-les manualment mentre que si es fa ús d'una aplicació es pot escollir l'opció "Ubicació actual" del dispositiu mòbil.
- Operadora: L'usuari ha d'introduir quina operadora ofereix el seu servei de trajecte interurbà. Per exemple, Hispano Igualadina, Autocorb, Transbages, etc.
- Línia: Quina és la línia o direcció que li interessa. Per exemple, de Barcelona a Igualada.
- Hora a realitzar el trajecte.

L'usuari podrà visualitzar els vehicles sobre el mapa i conèixer-ne els detalls de les dades generades per a cada trajecte. D'aquesta manera, pot optimitzar el seu recorregut i conèixer detalls que li siguin d'interès per a fer més eficient la seva mobilitat.



Figura 7.23. Exemple de la interfície per a autobusos interurbans plantejada per a l'usuari. *Font: elaboració pròpia*

7.7. Cost d'implantació del model

A continuació es planteja una valoració econòmica del projecte d'implementació del nou sistema de *ticketing* proposat. S'inclou en el càlcul quins són els costos de la maquinària proposada i del canvi de plataforma del títol de transport. Tot i així, es tracta d'un projecte l'objectiu principal del qual no és obtenir més beneficis dels que s'obtenen actualment, sinó millorar la qualitat del servei cap als usuaris¹⁹.

7.7.1. Finançament del transport públic

A la Regió Metropolitana de Barcelona el finançament del transport públic es regeix per contractes programa –CP– que coordina l'ATM i que tenen per objectiu regular el marc d'acord entre les diferents administracions públiques –Estat, Generalitat i administracions

¹⁹ S'utilitzen els criteris clàssics de rendibilitat ja que, en cas de resultar rendible, aquests criteris són més exigents que els que imposaria un projecte de millora del transport públic, que no buscar augmentar beneficis.



locals- per a cobrir les despeses del transport públic.

Així mateix, la participació dels usuaris en el finançament del transport públic metropolità és considerablement rellevant: en el cas de l'àmbit ATM, els ingressos per la venda de bitllets arribaven al 47% del total dels ingressos el 2013 –aportació que incrementa progressivament ja que el 2010 aquest percentatge era del 40%.

Tanmateix, un aspecte que ha contribuït al finançament del transport públic a la RMB és l'Impost de Bens Immobles –IBI-, concretament el Tribut Metropolità, que es recapta en proporció del import de l'IBI i que va destinat íntegrament a finançar el transport públic de l'Àrea Metropolitana de Barcelona. Entre l'Ajuntament de Barcelona, encarregat de la recaptació del impost a la ciutat de Barcelona i l'Àrea Metropolitana de Barcelona, encarregada de recaptar-lo als municipis de la primera corona metropolitana, s'aconsegueixen un ingressos d'uns 170 M€ que es destinen íntegrament al transport públic.

Cal tenir en compte que el cost real d'un trajecte en transport públic és superior al preu que paga l'usuari. Per aquest motiu existeixen instruments com els contractes programa per a finançar el sistema i assegurar-ne la viabilitat. Aquesta introducció de capital equilibra el balanç i fa que les administracions públiques aportin el capital necessari per a cobrir els costos reals.

Les dades sobre els contractes programa i les subvencions de l'any 2013 permeten elaborar una aproximació a la situació actual. El 23 de desembre de 2013²⁰ es va firmar el contracte programa 2013 entre AGE –Administración General del Estado- i ATM, que comportava una subvenció de les administracions públiques de 691 milions d'euros per al transport públic metropolità per aquell any. El repartiment era: 281 milions d'euros per part de la Generalitat de Catalunya, 95 milions d'euros per part de l'AMB, 80 milions d'euros per part de l'Ajuntament de Barcelona i altres aportacions diferides.

La comparativa dels últims contractes programa AGE-ATM permet observa com el cost del sistema de transport públic a la RMB incrementa, augmentant la el cost mig anual –entre els anys 2007 i 2013 incrementa un 19%. Veure Taula 7.12. [4]

Mitjana anual C-P	2005-2006		2007-2008		2009-2010		2011-2012		2013	
Subvencions	474	55%	605	57%	704	59%	690	55%	691	54%
Recaptació usuaris	385	45%	463	43%	499	41%	557	45%	582	46%

²⁰ Dades més recents publicades en la Memòria 2013 sobre el finançament del sistema de transport públic per ATM.

TOTAL	859	1.068	1.203	1.247	1.273
--------------	------------	--------------	--------------	--------------	--------------

(*) Les xifres s'expressen en milions d'Euros

Taula 7.12. Mitjana anual C-P períodes 2005-2013. *Font:* ATM

Pel que fa a la distribució de subvencions de l'any 2013, la Figura 7.24 mostra el repartiment de les subvencions de 691 milions d'euros entre els diferents operadors del sistema.

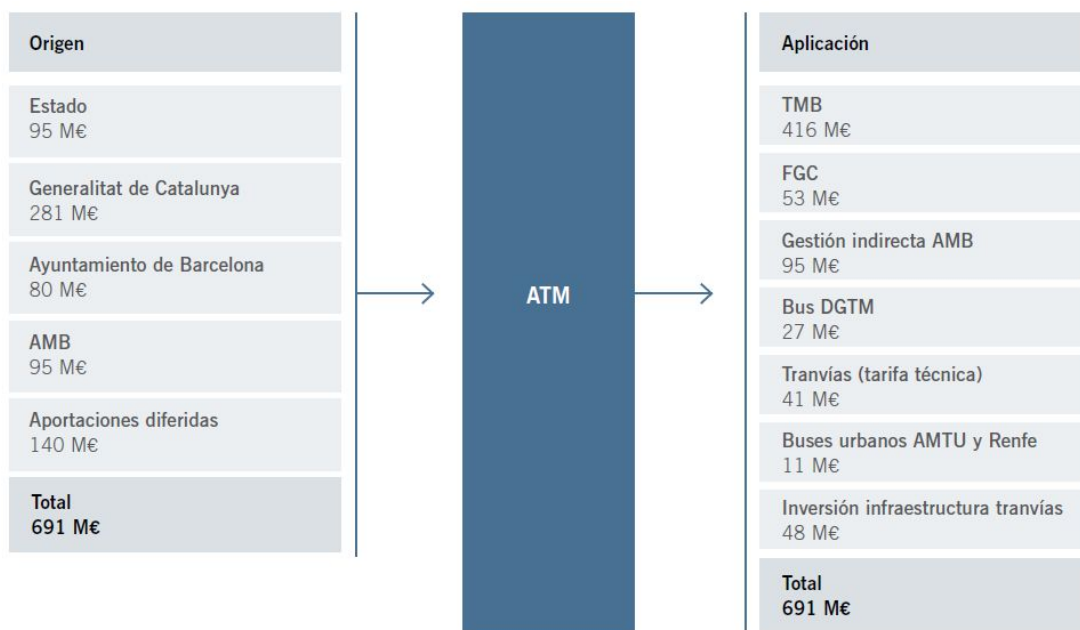


Figura 7.24. Origen i aplicació de les subvencions l'any 2013. *Font:* ATM

Pel que fa al desglossament del pressupost d'ATM per a l'any 2015, l'estat dels ingressos indica un total de 1.158.356.633,63€, total superior al que s'enregistrava l'any 2013. Veure Figura 7.25.



Estat dels ingressos

Art.	Denominació	Import del 2015 (€)
CAPÍTOL 3: TAXES, BÉNS I ALTRES INGRESSOS		
31	Prestació de serveis	74.761.060,00
39	Altres ingressos	506.654.022,21
TOTAL DEL CAPÍTOL 3		581.415.082,21
CAPÍTOL 4: TRANSFERÈNCIES CORRENTS		
40	Dels sector públic estatal	94.918.740,00
41	De l'Administració de la Generalitat	237.289.582,47
46	D'ens i corporacions locals	199.044.675,00
47	D'empreses privades	1.000.000,00
TOTAL DEL CAPÍTOL 4		532.252.997,47
CAPÍTOL 5: INGRESSOS PATRIMONIALS		
52	Interessos de dipòsit	20.000,00
TOTAL DEL CAPÍTOL 5		20.000,00
CAPÍTOL 7: TRANSFERÈNCIES DE CAPITAL		
71	De l'Administració de la Generalitat	44.668.553,95
TOTAL DEL CAPÍTOL 7		44.668.553,95
TOTAL DE L'ESTAT DELS INGRESSOS		1.158.356.633,63

Figura 7.25. Desglossament de l'estat dels ingressos l'any 2015. *Font:* ATM

7.7.2. Estudi i dimensionament del sistema d'autobusos a la RMB

És necessari estudiar i dimensionar el sistema d'autobusos actual per a conèixer el nombre de màquines que cal instal·lar i el conjunt de targetes intel·ligents que cal llançar.

En primer lloc, cal definir quina tecnologia implica el model proposat: a) Validadora embarcada i b) Bitllet intel·ligent amb tecnologia Mifare DESFire EV1. Per al càlcul del pressupost cal especificar el nombre de vehicles total de la flota d'autobusos de la RMB.

La flota de vehicles compren un total de 2.181 autobusos en 683 línies –segons dades del 2013. Veure Taula 7.13.

	Vehicles en servei	Línies	Longitud xarxa (km)	Edat mitjana flota en servei
Primera corona STI	1.412	208	2.248,3	7,5
Autobusos gestió AMB				
Reste STI	529	355	10.416,1	7,0
Transport interurbà				

Transport urbà de competència municipal	240	120	1.067,9	9,8
Altres autobusos urbans				
TOTAL	2.181	683	13.732,3	7,6

Taula 7.13. Flota d'autobusos disponible a la RMB, 2014. *Font:* ATM

7.7.3. Desenvolupament del càlcul d'inversions en tecnologia

El càlcul d'inversió es basa en que el model plantejat pretén substituir la totalitat de la tecnologia actual pel model tecnològic proposat. D'aquesta manera es basa en la substitució de les màquines validadores i els títols de transport actuals. No s'inclouen, doncs, costos d'adaptació de la tecnologia actual ni costos de desinstal·lació del sistema vigent.

7.7.3.1. Inversió relativa a la innovació dels títols de transport

El 2014 s'enregistraven 4,5 milions d'usuaris i el 36,4% dels viatges totals es realitzaven en mode autobús –sobre un total de 915,6 milions de viatges. Assumint que el 36,4% dels viatgers utilitzen el mode autobús –mentre que el 63,6% prefereixen el mode ferroviari-, mode que ocupa el present projecte, es pot calcular el nombre de bitllets necessaris per a l'any de llançament. En la present suposició no es té en compte l'existència de bitllets multiviatge. Veure Taula 7.14.

	Cost unitari	Total usuaris	TOTAL
Targeta amb xip Mifare DESFire EV1 4K	1,21€ ²¹	1.638.000	1.981.980€

Taula 7.14. Desenvolupament de costos per a la targeta amb xip Mifare. *Font:* elaboració pròpia

7.7.3.2. Inversió relativa a la innovació de les validadores embarcades

El nombre de vehicles en servei a la RMB és de 2.181 autobusos. Cadascun dels autobusos està dotat d'una validadora embarcada que permet l'autenticació del títol de transport. Això implica la incorporació d'un total de 2.181 validadores. Es detallen els costos totals a la Taula 10.15.

²¹ Veure Annex H



	Cost unitari	Total vehicles	TOTAL
Validadora Indra Sistemas SA	3.000€	2.181	6.543.000€

Taula 7.15. Desenvolupament de costos referents a la validadora. *Font:* elaboració pròpia

7.7.3.3. Inversió relativa a la incorporació de sensors

La incorporació de sensors té l'objectiu de comptar el nombre de passatgers que es troben a temps real en el vehicle. Es tracta de sensors direccionals instal·lats tant a la porta d'entrada com a la de sortida. Per tant, és necessària la instal·lació de dos sensors per vehicle, és a dir, un total de 4.362 sensors. Els costos totals es troben detallats en la Taula 7.16.

	Cost unitari	Total vehicles	TOTAL
Sistema de comptatge de passatgers	20€	2.181	87.240€

Taula 7.16. Desenvolupament de costos referents al sistema de comptatge de passatgers. *Font:* elaboració pròpia

7.7.3.4. Inversió relativa als dispositius de geolocalització

La operació de *tracking* o geolocalització dels vehicles es duu a terme mitjançant dispositius GPS de localització continua que s'afegeixen a la màquina validadora. Es detallen els costos a la Taula 7.17.

	Cost unitari	Total vehicles	TOTAL
Sistema de geolocalització	250€	2.181	545.250€

Taula 7.17. Desenvolupament de costos referents al sistema de geolocalització. *Font:* elaboració pròpia

7.7.3.5. Inversió relativa al hardware del vehicle

S'inclouen en aquest apartat les computadores de cada vehicle que s'incorporen a la màquina validadora. Veure Taula 7.18.

	Cost unitari	Total vehicles	TOTAL
Computadora individual	1.000€	2.181	2.181.000€

Taula 7.18. Desenvolupament de costos referents al hardware. *Font:* elaboració pròpia

7.7.3.6. Inversió relativa al software

La computadora central requereix la instal·lació d'un software que permeti coordinar les dades per al seu posterior enviament a temps real. S'estima que el cost del software és de 1.000.000€.

7.7.3.7. Inversió relativa al centre de gestió de dades

La gestió de les dades generades requereix de la instal·lació d'un centre de gestió de dades que en permeti l'anàlisi. Això inclou monitors per a la visualització, software especialitzat, mòdul d'avisos i alarmes i avisos en cas de fallades, etc. S'estima que el cost del centre de gestió de dades central és de 10.000.000€.

7.7.4. Inversió inicial

Prenent com a situació d'aplicació del projecte el panorama actual i basant el càlcul total en els punts desenvolupats en l'apartat anterior, es calcula la inversió inicial per a la instal·lació del nou sistema de targetes intel·ligents a la RMB. En aquest estudi no es tenen en compte els costos d'integració o aprofitament de recursos. D'aquesta manera, s'estudia la implantació del sistema sense tenir en compte sistemes anteriors al que es pretén instal·lar. Es desenvolupa en la Taula 7.19 el valor de la inversió inicial total.

Concepte	Inversió inicial (€)
Targetes intel·ligents amb xip Mifare	1.981.980
Validadores	6.543.000
Sistema de comptatge de passatgers	87.240
Sistema de geolocalització	545.250
Computadora individual	2.181.000
Software	1.000.000



Centre de gestió de dades	10.000.000
TOTAL	22.338.470

Taula 7.19. Resum de costos inicials. *Font:* elaboració pròpia

7.7.5. Costos de manteniment

Els costos de manteniment anuals es consideraran del 20% dels costos de llançament totals. Això implica un total de **4.467.694€**.

7.7.6. Càlcul d'ingressos

L'any 2013, els ingressos directes originats per la recaptació d'usuaris eren de 582 milions d'euros per a la totalitat dels modes de transport. Tenint en compte que de la totalitat dels viatges el 36,4% es realitzen en mode autobús, s'aplica aquesta proporció als ingressos. Per tant, de l'estimació resulta que la recaptació d'usuaris és de 211.848.000€ tenint en compte únicament el mode autobús. D'aquí, es considera que el increment d'ingressos un cop instal·lat el projecte de millora serà d'un 5% -es considera un increment raonable ja que l'aplicació del projecte és paral·lela al increment del nombre d'usuaris i a l'aplicació de millores de gestió de flota i altres que proporcionaran la reducció de costos.

El increment d'ingressos resulta de **10.592.400€**.

7.7.7. Càlcul del VAN i valoració econòmica

Per a la realització de la valoració econòmica, la metodologia emprada es basa en la concreció i anàlisi de diferents escenaris pel que fa a la inversió. El més habitual en aquest tipus d'anàlisi és la distinció dels següents escenaris:

- Escenari més probable o moderat: Aquest escenari és el que s'espera que es produeixi amb major probabilitat. Es preveu un increment dels ingressos d'un 0,5% respecte el període anterior.
- Escenari optimista: Es preveu un increment dels ingressos d'un 1% respecte el període anterior.
- Escenari pessimista: Es preveu un valor d'ingressos constant respecte els períodes anteriors.

A partir d'aquí, és possible calcular el Valor Actual Net –VAN- del present projecte.

7.7.7.1. Escenari més probable o moderat

Es mostra a la Taula 7.20 el desenvolupament del flux de caixa acumulat per a l'escenari moderat. El VAN, al període 5, resulta de **12.736.760,5€**.

Període	0	1	2	3	4	5
Increment d'ingrés	0,0	10592400,0	11122020,0	11678121,0	12262027,1	12875128,4
Cost manteniment		-4467694,0	-4467694,0	-4467694,0	-4467694,0	-4467694,0
Cost llançament	-22338470,0					
Flux de caixa actualitzat	-22338470,0	6064065,4	6523209,5	6998369,4	7490200,9	7999385,4
Acumulat	-22338470,0	-16274404,7	-9751195,2	-2752825,8	4737375,1	12736760,5

Taula 7.20. Desenvolupament del flux de caixa acumulat per a l'escenari moderat. *Font:* elaboració pròpia

Període de retorn = 3,37 anys

TIR (VAN=0) = 17,47%

7.7.7.2. Escenari optimista

Es mostra a la Taula 7.21 el desenvolupament del flux de caixa acumulat per a l'escenari optimista. El VAN, al període 5, resulta de **18.631.342,4€**.

Període	0	1	2	3	4	5
Increment ingrés	0,0	10592400,0	11651640,0	12816804,0	14098484,4	15508332,8
Cost manteniment		-4467694,0	-4467694,0	-4467694,0	-4467694,0	-4467694,0
Cost llançament	-22338470,0					
Flux de caixa actualitzat	-22338470,0	6064065,4	7042393,9	8103563,9	9255000,3	10504789,0
Acumulat	-22338470,0	-16274404,7	-9232010,8	-1128446,9	8126553,4	18631342,4

Taula 7.21. Desenvolupament del flux de caixa acumulat per a l'escenari optimista. *Font:* elaboració pròpia

Període de retorn = 3,16 anys

TIR (VAN=0) = 23,01%

7.7.7.3. Escenari pessimista

Es mostra a la Taula 7.22 el desenvolupament del flux de caixa acumulat per a l'escenari pessimista. El VAN, al període 5, resulta de **7.387.369,43€**.



Període	0	1	2	3	4	5
Increment ingrés	0,0	10592400,0	10592400,0	10592400,0	10592400,0	10592400,0
Cost manteniment		-4467694,0	-4467694,0	-4467694,0	-4467694,0	-4467694,0
Cost llançament	-22338470,0					
Flux de caixa actualitzat	-22338470,0	6064065,4	6004025,1	5944579,3	5885722,1	5827447,6
Acumulat	-22338470,0	-16274404,7	-10270379,6	-4325800,3	1559921,8	7387369,4

Taula 7.22. Desenvolupament del flux de caixa acumulat per a l'escenari pessimista. *Font:* elaboració pròpia

Període de retorn = 3,74 anys

TIR (VAN=0) = 11,53%

7.7.7.4. Valoració econòmica

La Taula 7.23 mostra un resum dels valors calculats per a realitzar la valoració econòmica.

	Escenari moderat	Escenari optimista	Escenari pessimista
VAN	12.736.760,5	18.631.342,4	7.387.369,43
TIR	17,47%	23,01%	11,53%
Període de retorn	3,37 anys	3,16 anys	3,74 anys

Taula 7.23. Valoració econòmica. *Font:* elaboració pròpia

Un Valor Actual Net positiu implica que el projecte és rendible mentre que si és negatiu es tracta d'un projecte no rendible. En la totalitat dels escenaris plantejats el projecte és rendible.

En tots els casos, el període de retorn de la inversió pren un valor comprès entre els 3 i 4 anys.

7.8. Millores i avantatges respecte el sistema anterior

La tecnologia implementada aporta avantatges pel que fa a l'optimització del servei en diferents aspectes: tant des del punt de vista dels usuaris com des del punt de vista de les operadores.

Avantatges per a l'usuari

1. Connexió ràpida entre targeta i validadora. Això porta a una major comoditat del sistema i una accessibilitat més ràpida als autobusos. L'usuari únicament ha d'apropar la targeta a la validadora, sense necessitat de contacte directe. Això implica una reducció en el temps de cua i l'eliminació del temps d'impressió de la targeta i la banda magnètica del sistema actual. Es considera, de forma indicativa, que s'estalvien de 2 a 4 segons per cada 10-15 passatgers. [16]
2. Augment de la informació que obté l'usuari. Això implica l'augment del nivell de satisfacció de l'usuari: aquest, podrà optimitzar el seu temps coneixent l'estat actual de la xarxa d'autobusos –podrà conèixer la ubicació a temps real de cadascun dels vehicles de la flota i quina és l'opció més favorable segons la seva situació.
3. Atenció i informació adaptada a l'usuari. Eines web *on-line* i aplicacions que gestionen la millor opció per a l'usuari: amb el nou sistema, la recoll·lecció de dades estadístiques es realitza d'una forma més senzilla, ràpida i a temps real. L'usuari podrà planificar els seus viatges en transport públic prèviament o inclús en el mateix moment, disposant d'eines per a la cerca de les millors combinacions de viatge.
4. Eliminació de la incertesa d'espera mitjançant el coneixement l'instant en què els autobusos passaran per la parada.
5. L'anàlisi de l'aforament en cada vehicle porta al coneixement dels punts crítics del sistema –hores o línies amb demanda que excedeix l'oferta o amb manca d'usuaris. Amb aquestes dades, la millora dels serveis és fàcil d'abordar: intensificació o eliminació dels serveis en punts crítics.
6. Al facilitar un control automatitzat del compliment de l'oferta dels serveis es millora la fiabilitat dels serveis, i per tant, la seva qualitat.

Avantatges per a les operadores i ATM

1. Menor dificultat de gestió. Retirada del mercat dels diferents tipus de targetes: s'unifiquen totes sota la interfície Mifare DESFire EV1®. Es tracta d'una targeta reutilitzable i recarregable que evita les targetes d'un sol ús o ús limitat.
2. La reducció dels temps globals d'embarcament porta una reducció de la permanència dels autobusos a les parades i, per tant, els costos d'operació de cada vehicle són menors –menor temps per a realitzar el mateix recorregut.
3. Millor control del sistema i facilitat afegida per a complir els objectius.



4. Recull i obtenció de dades massives a temps real que augmenten la possibilitat d'implantar millores al servei.
5. Localització i posicionament a temps real dels vehicles. Això porta a una millora en la regulació del servei al controlar els desfasaments dels vehicles respecte la posició o ruta prevista.
6. Informació sobre el nombre d'usuaris a bord.
7. Facilitat de distribució d'ingressos a les operadores per part d'ATM gràcies a la disponibilitat de dades massives que demostren els serveis.
8. Reducció del frau –com ara la falsificació de títols de transport- amb la inclusió de tecnologia més segura.
9. Empresa més atractiva i innovadora tecnològicament.
10. Gestió eficient i ràpida dels serveis oferts. Possibilitat de realitzar seguiments de patrons socials i geogràfics, estudis d'hàbits d'ús, identificació de línies o punts crítics. Aquest control va lligat a una voluntat d'optimitzar els serveis amb la finalitat de suplir de forma satisfactòria la demanda.
11. Augment de la qualitat percebuda pel client.
12. Fàcil expansió a altres serveis i modes de transport.

8. Impacte del projecte

Un projecte amb les característiques del sistema proposat té impacte, principalment, ambiental i social. Es defineix un impacte com un conjunt de possibles efectes sobre l'entorn com a conseqüència de la implantació d'un nou sistema o altres activitats.

8.1. Impacte ambiental

8.1.1. Impacte ambiental positiu

L'estudi d'impacte ambiental ha d'incloure l'anàlisi tècnic que permet estimar els efectes que té un determinat projecte per a l'entorn natural. Aquest aspecte, s'ha tingut en compte durant el desenvolupament del present projecte.

Les àrees metropolitanes com la que ocupa l'estudi es veuen involucrades a una congestió deguda a la circulació d'un gran nombre de vehicles. D'aquesta manera, un projecte que proposa un transport públic més eficient i còmode per a l'usuari busca:

- Encoratjar als usuaris i augmentar el nombre d'usuaris que abandonen l'ús del transport privat per a usar el transport públic.
- Reduir el nombre de vehicles en circulació i, per tant, les emissions i el impacte acústic provinents dels vehicles. De forma general, es pot afirmar que el mode "a peu" i "en cotxe" són els mitjans de transport més utilitzats i que, a mida que es surt de la ciutat de Barcelona, l'ús del vehicle privat incrementa en detriment del transport públic. Veure Taula 8.1.

Mode de transport segons àmbit territorial					
	Barcelona	Rest a 1 ^a corona STI	Rest a AMB	Rest a RMB	Total RMB
Modes no motoritzats	52,6%	52,9%	43,8%	48,4%	50,6%
Transport públic	29,8%	19,8%	8,9%	9,1%	18,6%
Transport privat	17,6%	27,3%	47,3%	42,5%	30,9%
TOTAL	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Taula 8.1. Mode de transport segons àmbit territorial. *Font:* ATM



L'ús del transport públic, doncs, redueix considerablement el consum d'energia, les emissions generades i disminueix el nombre de vehicles que emeten impacte acústic. Es descriuen a continuació els impactes esmentats.

8.1.1.1. Emissions provinents del transport

Cal analitzar i comparar les emissions del vehicle privat i el transport públic per a avaluar el impacte ambiental del projecte proposat, en aquest cas positiu ja que busca incrementar l'ús del transport públic com a conseqüència de la seva millora.

La principal composició dels gasos emesos es mostra en la Figura 8.1. D'aquesta composició, els principals causants de la contaminació atmosfèrica són l'emissió de partícules –PM-, el CO₂ i el NO₂.

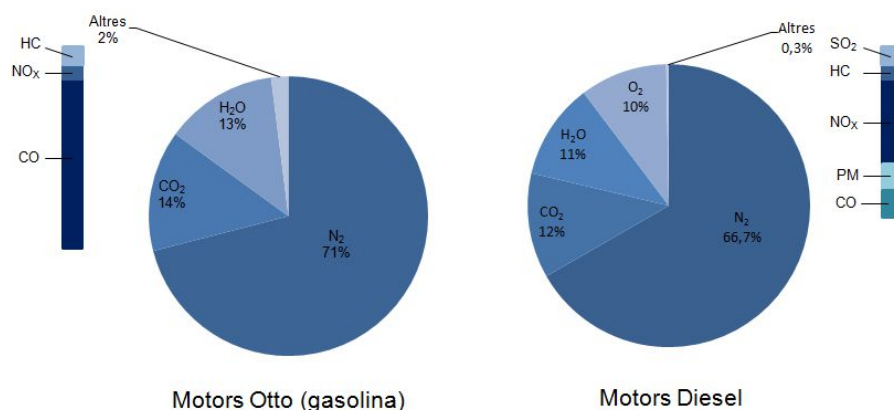


Figura 8.1. Composició principal dels gasos emesos per vehicles. *Font:* elaboració pròpia

Cal tenir en compte que a Espanya el transport és responsable del 28% de les emissions de CO₂. El diòxid de carboni es produeix en la combustió de tots els combustibles fòssils. Per cada litre de gasolina consumit, un cotxe emet una quantitat mitjana de 2,3 kg de CO₂, i per cada litre de gasoil, 2,6 kg de CO₂. La Figura 8.2 mostra la quantitat en grams de CO₂ emès per quilòmetre recorregut segons diferents mitjans de transport. Una persona en transport públic emet 3 g/km mentre que una persona en un cotxe de mida mitjana emet 320 g/km.

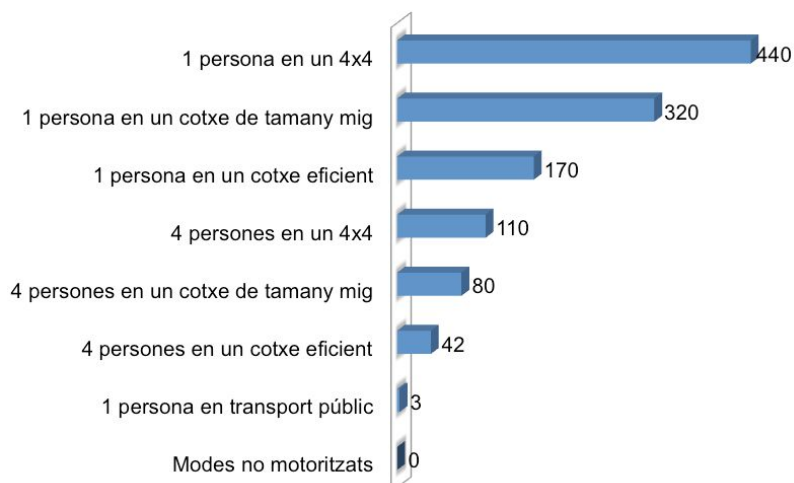


Figura 8.2. Emissions de g de CO₂ per persona i km recorregut per a diferents mitjans de transport.

Font: Australian Greenhouse Office

El impacte mediambiental generat per aquestes emissions presenta efectes perjudicials per a la salut i per a la preservació de l'entorn natural. Mentre les emissions mitjanes d'un vehicle privat superen els 160 g de CO₂ per quilòmetre, en el cas del transport públic la mitjana s'ubica en un màxim de 51 g de CO₂ per a un autobús convencional. És a dir, un habitant de la RMB que realitzi una mitjana de 20 km diaris de trajecte generarà un nivell d'emissions contaminants amb el seu vehicle particular que superen els 700 kg al llarg de l'any mentre que si es desplaça amb transport públic les emissions de CO₂ arribarien als 100 kg.

8.1.1.2. Impacte acústic

La producció de soroll és inherent a qualsevol activitat, sobretot en aquelles desenvolupades pel sector del transport. En el cas que ocupa el projecte, el transport terrestre motoritzat és una de les principals causes de contaminació acústica deguda a la gran concentració de vehicles a la RMB.

De mitjana, la capacitat d'un autobús urbà de transport col·lectiu presenta una capacitat de 35 passatgers. Això equivaldria a 7 vehicles privats de 5 places totalment plens. D'aquesta manera, un autobús públic equivaldria a set vehicles privats. D'aquesta manera, la reducció del nombre de vehicles i el foment del transport públic redueixen les emissions acústiques. Els nivells de soroll màxims admissibles per a automòbils és de 96 dB mentre que per a autobusos és de 100 dB. D'aquesta manera, cal buscar l'equilibri entre en desenvolupament de les diferents activitats del transport i els nivells de contaminació acústica. [17]



8.1.1.3. Consum energètic

L'eficiència energètica del transport públic és major enfront a la que presenta el privat. A la Taula 8.2 es desenvolupen els consums energètics segons el mode de transport. [18]

Ús energètic segons mode de transport (MJ/passatger·km)			
Mode	Producció del vehicle	Combustible	Total
Bicicleta	0,5	0,3	0,8
Tren lleuger	0,7	1,4	2,1
Autobús	0,7	2,1	2,8
Ferrocarril pesat	0,9	1,9	2,8
Cotxe (gasolina)	1,4	3,0	4,4
Cotxe (diesel)	1,4	3,3	4,7

Taula 8.2. Ús energètic segons mode de transport. *Font:* International Association of Public Transport (UITP)

El total d'ús energètic per un autobús és de 2,8 MJ/passatger·km mentre que en cotxe aquesta quantitat arriba als 4,4 MJ/passatger·km. D'aquesta manera, el consum energètic és major en vehicles privats que en vehicles col·lectius.

8.1.2. Impacte ambiental negatiu

8.1.2.1. Material del títol de transport

El sistema vigent presenta uns títols de transport de paper mentre que l'actual planteja la renovació dels bitllets passant a ser la base d'aquests de PVC. Ambdós materials són reciclables però en el cas del termoplàstic:

- Degut a la gran varietat d'additius utilitzats, s'obté un producte reciclat de

baixa qualitat.

- El procés de reciclatge és més car que en el cas del paper. Fins i tot pot resultar no rendible.

Tot i així, al tractar-se d'un producte de llarga vida útil i reutilitzable, degut als avantatges tecnològics que presenta, s'escull com a opció òptima.

8.2. Impacte social

El impacte social vinculat al projecte es resumeix en:

- Adaptació de la societat que conforma la RMB al nou model. El projecte presenta un model tecnològic innovador respecte el sistema actual de validació.
- Disminució del nombre d'accidents viaris com a conseqüència directa de la reducció del nombre de vehicles a la via pública.
- Disminució del nombre d'emissions perjudicials per la salut.



9. Pressupost

Per al que es refereix al pressupost de realització del present projecte, es detallen, a la Taula 9.1, les despeses associades i el import final.

Concepte	Quantitat	Preu	Import (€)
Hores d'enginyera becària	360 hores	10€/hora	36.000,00
Material d'oficina	-	-	50,00
Ordinador	-	-	900,00
Impressora	-	-	100,00
Consum d'electricitat	-	-	150,00
Llicència Microsoft Office®	-	-	150,00
Base imposable			4.950,00
IVA (21%)			1.039,50
TOTAL			5.989,50

Taula 9.1. Pressupost de realització del projecte detallat. *Font:* elaboració pròpia

Conclusions

L'objectiu principal del present projecte era el disseny d'un sistema que portés a la millora de la xarxa de transport públic d'autobusos a la RMB, tant pel que fa a la gestió i explotació de dades com a la tecnologia necessària per a fer-ho. Aquesta millora es focalitza en els usuaris i en l'administració del transport públic, l'ATM.

A partir d'aquí, s'ha realitzat un estudi de mercat detallat sobre quines eren les possibilitats que presentava el mercat tecnològic i com podien implantar-se per a construir un sistema complet i còmode. D'aquest procés, doncs, s'ha obtingut quina era la tecnologia òptima per a la implantació d'un model que es cenyís als objectius proposats. Amb això, el nou model exposat aconsegueix implementar una tecnologia que aporta avantatges pel que fa a l'optimització del servei actual de transport públic a la RMB.

La nova tecnologia sense contacte, aplicada tant al títol de transport com a la màquina validadora, permet un accés ràpid, senzill i intuïtiu als vehicles. Permet una connexió ràpida entre targeta i validadora, sense necessitat de contacte directe, generant les dades prefixades. Aquest aspecte, elimina el temps d'impressió de la targeta i redueix, així, el temps d'espera i cua a l'entrada del vehicle, oferint comoditat al passatger.

Així mateix, facilita un dels objectius principals: la generació de dades a temps real. Les propostes justificades durant el projecte aconsegueixen generar la informació necessària per al control de la xarxa d'autobusos de la RMB. Permeten l'anàlisi de dades a temps real i el coneixement de l'estat del sistema en tot moment: a partir d'aquí, mitjançant el disseny d'eines i aplicacions per a l'explotació de les dades, s'augmenta el control del sistema i la facilitat de resolució de conflictes amb un temps menor. Això porta l'augment del nivell de satisfacció dels usuaris, que percebran les millores en el servei i l'augment d'informació per a facilitar-li el servei.

Es redueixen, doncs, els temps globals d'embarcament, es millora la informació per al control del sistema i s'informa els usuaris per a oferir un servei avançat i còmode.

D'aquesta manera, es tracta d'un sistema complex degut a les diferents àrees de coneixement que s'hi impliquen. Cal fer un estudi tecnològic i un estudi sobre quina serà l'explotació de dades posterior a la recollida d'aquestes.

S'obté un projecte rendible tot i que l'objectiu principal no és obtenir o augmentar beneficis sinó millorar el servei de transport públic d'autobusos a la RMB. D'aquesta manera, es considera que el projecte que pretenia fer front als punts febles del sistema de transport públic d'autobusos actual, entre ells la vellesa tecnològica i la manca de



dades a temps real enfocades tant a l'usuari com a l'administració, ha complert els objectius fixats.

Agraïments

El repte de la inspiració per a fer una recerca que ocuparà un quadrimestre de la teva trajectòria universitària no és fàcil. D'aquí comença aquest agraïment. Al meu tutor, Pere Grima, que m'ha ajudat a crear aquest projecte des de zero i m'ha aconsellat durant tot el trajecte.

Als meus pares, que m'han acompanyat cadascun dels dies d'aquests quatre cursos.

Fer aquest repàs dels que directa o indirectament han fet que arribés al final d'aquesta recerca és potser una tasca impossible i sé, per endavant, que correré el perill de ser injusta: per als que no he citat, gràcies.



Bibliografia

Referències bibliogràfiques

- [1] GENERALITAT DE CATALUNYA, *Pla de Transports de Viatgers de Catalunya 2020*. Departament de Territori i Sostenibilitat, 2015. [http://www.eic.cat/sites/default/files/novetats-nol/20209352_0.pdf, 20 de Novembre de 2015]
- [2] GENERALITAT DE CATALUNYA, *Les xifres del transport públic a Catalunya*. Departament de Territori i Sostenibilitat, 2014. [<http://www.atmcamptarragona.cat/upload/doc/noticies/LTxMULSjiC.pdf>, 20 de setembre de 2015]
- [3] JOSÉ LUIS DE VICENTE, *Big Bang Data*, 2013. [<http://bigbangdata.cccb.org/>, 7 de setembre de 2015]
- [4] AUTORITAT DEL TRANSPORT METROPOLITÀ, *TransMet Xifres*, 2014. [<http://www.idescat.cat/cat/idescat/biblioteca/docs/pec/paae2014/r00932014.pdf>, 10 de setembre de 2015]
- [5] ENCICLOPÈDIA CATALANA, *Diccionari Enciclopèdic*, Volum 4, Barcelona, 1995.
- [6] INTERNATIONAL TRANSPORT FORUM OF CORPORATE PARTNERSHIP BOARD, *Big Data and Transport: understanding and assessing options*, 27 d'octubre de 2014. [http://www.internationaltransportforum.org/Pub/pdf/15CPB_BigData.pdf, 7 de setembre de 2015].
- [7] SOARES SUNIL, *Not your type? Big Data matchmaker on five data types you need to explore today*, 2012. [<http://www.dataversity.net/not-your-type-big-data-matchmaker-on-five-data-types-you-need-to-explore-today>, 10 de setembre de 2015]
- [8] MANYIKA J., CHUI M., BROWN B., BUGHIN J., DOBBS R., ROXBURGH C., HUNG BYERS A., *Big Data: The next frontier for innovation, competition and productivity*, McKinsey Global Institute, 2011.
- [9] SEGUÍ PONS J.M, MARTÍNEZ REVNÉS M., *Geografía de los transportes*, Edicions UIB, 2004, p.132-133.
- [10] GENERALITAT DE CATALUNYA, *Diari de Sessions del Parlament de Catalunya*, Comissió de Territori i Sonstenibilitat, Sèrie C, Número 631, 2015.

- [<http://www.parlament.cat/document/dspcc/56833.pdf>, 15 de setembre de 2015]
- [11] INDRA SISTEMAS, *Sistemas de venta de títulos de transporte y control de accesos. Transporte y tráfico*.
[http://www.indracompany.com/sites/default/files/Ticketing_Esp_baja.pdf, 17 de setembre de 2015]
- [12] AUTORITAT DEL TRANSPORT METROPOLITÀ, *Pla Director de Mobilitat de la Regió Metropolitana de Barcelona 2013-2018*, 2014.
[http://www.atm.cat/web/pdf/es/_dir_pdm2013-2018/Resumen-ejecutivo-pdM.pdf, 20 de setembre de 2015]
- [13] AGUILAR A., NUNES F., SILVA M., DIRK E., *Personal Navigator for a Public Transport System using RFID Ticketing*, Fraunhofer Portugal Research Centre AICOS, Oporto.
[<http://inmotion09.dei.uc.pt/papers/Personal%20Navigator%20for%20a%20Public%20Transport%20System%20using%20RFID%20Ticketing.pdf>, 25 de setembre de 2015]
- [14] PONSA P., GRANOLLERS A., *Diseño de Sala de Control*, Departament de Disseny Industrial, Universitat Politècnica de Catalunya.
[<http://www.epsevg.upc.edu/hcd/material/lecturas/salacontrol.pdf>, 5 de novembre de 2015]
- [15] TUFTE R. EDWARD, *The Visual Display of Quantitative Information*, 1878, Paris. Ed. Graphics Pr; 2a edició (2001).
- [16] PADDINGTON J., *Study on Public Transport Smartcards – Final Report*, The EC Smartcards Study Consortium, 2011, Brimingham.
[<http://ec.europa.eu/transport/themes/urban/studies/doc/2011-smartcards-final-report.pdf>, 7 de novembre de 2015]
- [17] GOBIERNO DE ESPAÑA, *Ley sobre Tráfico, Circulación de Vehiculos a Motor y Seguridad Vial*, 2015.
- [18] COLOMER FERRÁNDIZ J., INSA FRANCO R., *El consumo energético en el transporte urbano y metropolitano*, Universidad Politécnica de Valencia, 2006.
[<http://www.ciccp.es/revistaT/textos/pdf/06-Vicente%20Colomer.pdf>, 1 de desembre de 2015]

Bibliografia complementària

- [19] HUANG T., LIANG L., FANG X., AN P., MIN J., WANG F., *Promises and Challenges of Big Data Computing in Health Sciences*. Elsevier, 2015.



- [20]** ITENE, INSITUTO TECNOLÓGICO DEL EMBALAJE, TRANSPORTE Y LOGÍSTICA, *Aplicaciones de Tecnología por Radiofrecuencia y soluciones para la gestión logística*. Valencia, 2015.